

Niko Uimonen

# Ulkovalaistuksen uudistaminen tehdaskiinteistössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

8.5.2018

Tekijä Otsikko	Niko Uimonen Ulkovalaistuksen uudistaminen tehdaskiinteistössä
Sivumäärä Aika	67 sivua + 5 liitettä 8.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Ryhmäpäällikkö Juha Långström Sähkötöiden johtaja Jouni Uimonen Lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Työssä tutkittiin asiakaskohteen valaistuksen saneerausta ja sen potentiaalisia säästöjä ledivalaisimien ja ohjauksen avulla. Työn tarkoituksena oli suunnitella uusi laadukkaampi ja energiatehokkaampi valaistus tehdaskiinteistön ulkoalueelle pyrkimällä minimoimaan valaistuksen asennusten muutostöitä käyttämällä nykyisiä valaisinpisteitä.</p> <p>Kiinteistössä ei ole ollut yhteneväistä valaistussuunnitelmaa, mikä oli johtanut valaisimien epäyhtenäiseen valikoimaan ja silmiinpistävään värilämpötilojen eroavaisuuksiin. Tämän johdosta oli syytä suunnitella alueelle kokonaisuudessaan uusi valaistus hyödyntäen uusia energiatehokkaita ledivalaisimia.</p> <p>Työssä on esitelty alkuun teoriaosuudessa kertauksen vuoksi valaistustekniikan suureita sekä nykyisiä valaisintyppejä että vanhempia valaisintyppejä painottaen ulkovalaistusta. Lisäksi esitetään erityisesti ulkovalaistuksessa huomioitavia standardeja ja ohjeistuksia sekä erilaisia valaistuksen ohjaustapoja ja huomioitavia asioita ulkovalaisimien teknisiin ratkaisuihin. Työn lopussa esitetään kiinteistölle suunnitellut ulkovalaistus ratkaisut ja DIALux evo -ohjelman käyttöä valaistuksen mallintamisessa.</p> <p>Lopputuloksena saatiin yhteneväinen valaistus kiinteistön ulkoalueille ja valaisimien tyyppitykset eri alueilla käytettäviin valaisimiin sekä arvioitua valaistusmuutoksen kustannukset ja takaisinmaksuajat. Työssä ilmeni myös, ettei valaistuksen ohjaus ole aina kannattavaa niin kustannuksiltaan kuin käytöltään.</p>	
Avainsanat	ulkovalaistus, energiansäästö, valaistuksenohjaus, DIALux evo, teollisuusvalaistus

Author Title	Niko Uimonen Outdoor Lighting Renewal of an Industrial Building
Number of Pages Date	67 pages + 5 appendices 8 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Juha Långström, Group Manager Jouni Uimonen, Supervisor, electrical work Tapio Kallasjoki, Senior Lecturer
<p>This study was executed for Avena Kantvik Oy and it was supervised by Granlund Oy. The potential energy savings through led lighting and lighting control was studied in this work. Avena Kantvik food oil refinery plant's current lighting solution was disunited and at the end of its life cycle, and therefore needed to be rebuild. The aim of this work was to find an outdoor lighting solution similar to the current one in the Avena Kantvik plant and also unify the plant's outdoor lighting solutions. The criteria for the new outdoor lighting was energy efficiency and minimizing the change of the current lighting installations.</p> <p>First theory of lighting, different type of lights and lighting controls are introduced, underlining outdoor lighting. About lighting solutions, different type of solutions from different centuries are also introduced. After introducing the basics of lighting, this thesis explains what should be taken into consideration regarding lighting designing in outdoor and industrial environments. At end of the thesis, solutions for the mill's outdoor lighting and lighting design with DIALux evo program are introduced.</p> <p>As a result, unified outdoor lighting was designed for the plant's outdoor areas that consume half less energy than the current one. Budget for the outdoor lighting rebuilding that includes cost of the lights and labor costs was also done in this thesis work. The results of the thesis suggest that it is not always cost-effective to use modern lighting control in outdoor lighting and also the benefits of lighting control may not be worthwhile enough in certain types of areas.</p>	
Keywords	outdoor lighting, energy savings, light control, DIALux evo, industrial lighting

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Valaistuksen suureita	2
3	Valonlähteet ja valaisimet	9
3.1	Valaisimien tekniset ominaisuudet	9
3.2	Tyypilliset valonlähteet ulkovalaistuksessa	18
3.3	Led	22
4	Valaistuksen ohjaus	27
4.1	Perinteiset valaistuksenohjaustavat	28
4.2	Nykyaikaiset ohjaustavat	29
5	Ulko- ja teollisuusvalaistus	31
5.1	Ulkotyöalueiden standardin SFS-EN 12464-2 vaatimukset	31
5.2	Materiaalien valinta teollisuudessa	32
5.3	Materiaalien valinta ulkovalaistuksessa	33
5.4	Huoltokertoimen määrittely	34
6	Projektin toteutus ja laskelmat	37
6.1	Kohteen yrityksen taustatietoa	37
6.2	Kohteen lähtötilanne	37
6.3	Kohteen mallintaminen DIALux evolla	39
6.4	Kohteen valaistussuunnittelu	45
6.5	Valaistuksen elinkaari- ja kustannuslaskelmat sekä energiansäästö	58
7	Yhteenveto	64
	Lähteet	65

## Liitteet

- Liite 1. Elinkaarilaskelma Työtasovalaisimet
- Liite 2. Elinkaarilaskelma Aluevalaisimet
- Liite 3. Urakkahintaennuste
- Liite 4. Nykyisen valaistuksen tulokset
- Liite 5. Uuden valaistuksen tulokset

## 1 Johdanto

Työn tarkoituksena oli suunnitella uusi yhdenmukaisempi ja samalla energiatehokkaampi sekä huoltovapaampi ulkovalaistus Avena Kantvik Oy:n tehdaskiinteistön alueelle. Työn tarve oli syntynyt, kun kiinteistön alueella oli valaistusratkaisuja eri aikakausilta ja värilämpötilojen kirjo oli paikoin silmiinpistävää. Lisäksi nykyinen ulkovalaistus alkoi olla elinkaarensa päässä ja käytössä oli vielä valonlähteitä, jotka ovat jo tässä vaiheessa poistuneet markkinoilta.

Työn tavoitteena on saada kohteeseen yhteneväinen ja samalla energiatehokkaampi valaistus moderneilla ledivalaisimilla sekä parantaa valaistusta nykyisissä ongelmakohdissa. Ledivalaisimien avulla myös huoltokustannukset jäävät huomattavasti aiempaa alhaisemmaksi ja useiden erilaisten valonlähteiden hallinnoinnista päästään eroon.

Työn alussa esitetään valaistukseen liittyvät perussuureet ja tapoja, joilla mitata valaistuksen arvoja ja laatua. Tämän jälkeen kerrotaan erilaisista valaisimien ominaisuuksista kuten materiaaleista ja valaisimien eliniästä. Lisäksi kerrataan erilaisia valonlähteitä niin perinteisiä kuin nykyaikaisia ledivalaisimia. Seuraavaksi esitetään niin perinteisiä kuin moderneja valaistuksen ohjaustapoja. Tämän jälkeen perehdytään vielä tarkemmin ulkovalaistuksen ominaisuus piirteisiin ja olemassa oleviin standardeihin. Lopuksi esitetään uuden ulkovalaistuksen suunnittelua Avena Kantvik Oy:n tehdaskiinteistöön ja pohditaan projektin lopputulosta.

Työ tehtiin Avena Kantvik Oy:lle, jossa työskentelee kaksi sähkömiestä. Valaisinhuolto on ollut pääosin täytetyötä ja toisinaan valaisinhuolto on myös ostettu ulkopuolisilta toimijoilta. Työn lähtökohtana oli selvittää nykyisen valaistuksen tila ja etsiä tälle korvaava tai vaihtoehtoinen valaistus. Suunnittelussa tuli pyrkiä siihen, että valaistus pysyisi samanlaisena eikä valaisimen paikkoja muutettaisi liiemmin ylimääräisten kustannusten välttämiseksi. Poikkeuksena tässä oli muutamat kohdat, joihin selkeästi toivottiin ja tarvittiin lisää valaistusta sen puuttuessa joko kokonaan tai ollessaan muuten riittämätön.

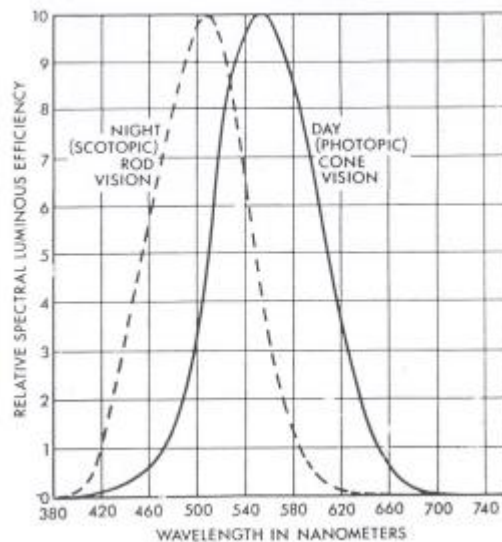
## 2 Valaistuksen suureita

Tässä luvussa käsitellään valaistukseen liittyviä suureita ja käsitteitä, joita valaistuksen suunnittelussa vaaditaan tuntevan.

### Suhteellinen silmänherkkyys

Kaikki valaistustekniikan suureet perustuvat päivänäkemisen suhteelliseen silmänherkkyyskäyrään,  $V(\lambda)$ -käyrään. Kyseinen käyrä kuvaa ihmisen silmän herkkyyttä tappi-soluilla tapahtuvassa päivänäkemisessä, jolloin valoa on hyvin paljon. Päivänäkemistä kutsutaan myös fotooppiseksi näkemiseksi. Valo on sähkömagneettista säteilyä. Ihmisen näkemä valo ulottuu aallonpituuksille 400–760 nm, mikä on ultraviolettisäteilyn ja infrapunasäteilyn välillä. Oheisessa kuvassa 1 on esitetty  $V(\lambda)$ -käyrä, josta on helposti havainnoitavissa, että silmälle herkin alue on kellanvihreää, jonka on noin 555 nm kohdalla. Kaikkein valotehokkain lamppu saadaan aikaiseksi, kun käytetään ainoastaan silmälle herkimmällä alueella olevaa säteilyä, mutta tämä puolestaan aiheuttaa hyvin monokromaattista valoa, jonka vuoksi värintoistoindeksi olisi erittäin heikko. Valkoisen valon aikaansaamiseksi valossa tulisi olla kaikkia aallonpituuksia. (Kallasjoki 2015b: 2–3.)

Myös hämäränäkemiselle eli skotooppiselle näkemiselle on määritetty oma silmänherkkyyskäyrä. Hämränäkeminen tapahtuu silmän sauvasolujen avulla. Hämränäkemisessä  $V(\lambda)$ -käyrä siirtyy lyhempiin aallonpituuksiin eli sinisempiin sävyihin. Sauvasolujen silmänherkkyysmaksimi on noin 507 nm:n kohdalla, ja se on väriltään sinisenvihreää. Tästä silmänherkkyysalueen siirtymisestä johtuen ulkovalaistuksessa, jossa on huomattavasti vähemmän valoa, koetaan ledien ja monimetallien tuottama valkoisempi valo valoisampana verrattuna esimerkiksi suurpainenaatriumlamppuihin. Eli mitatut tai lasketut arvot ei välttämättä pidä paikkaansa suhteessa koettuun valaistuksen tasoon, sillä laskennalliset arvot perustuvat päivänäkemisen  $V(\lambda)$ -käyrään. Skotooppisen ja fotooppisen näkemisen välissä, joissa silmän tappi- ja sauvasolut toimivat yhtä aikaa, kutsutaan mesooppiseksi näkemiseksi. (Kallasjoki 2015b: 2-3; ST 57.40 2017: 2.) Kuvassa 1 on esitetty sekä skotooppisen alueen että fotooppisen alueen silmänherkkyyskäyrät.



Kuva 1. Skotooppinen ja fotooppinen silmänherkkyyskäyrä (Kallasjoki 2015b: 3).

### Valovirta

Valovirta ilmaisee valonlähteen lähettämää valonmäärää, jonka ihmissilmä kykenee näkemään eli valovirrassa ei ole mukana esimerkiksi UV-valon osuutta, jota jotkin valonlähteet lähettävät näkyvän valon lisäksi. Valovirran tunnus on  $\Phi$  ja sen yksikkö on luumen (lm). (Kallasjoki 2015b: 4.)

### Valovoima

Valovoima ilmaisee valaisimen tai valonlähteen lähettämää valovirran suuruutta määriteltyn suuntaan. Valaisimien ja valonlähteiden valovoima eri suuntiin on luettavissa valonjakokäyristä. Valovoiman tunnus on  $I$  ja yksikkö kandela (cd). (Kallasjoki 2015b: 4.)

### Luminanssi

Luminanssin tunnus on  $L$  ja sen yksikkö on  $\text{cd}/\text{m}^2$  eli kandelaa neliömetrille. Luminanssi ilmaisee valotiheyttä ja kertoo, kuinka valoisana jokin pinta näkyy määriteltyn suuntaan. Näkeminen perustuu luminanssieroihin ja niiden luminanssikontrastiin, josta käytetään tunnusta  $K$ , jonka laskentakaava on esitetty kaavassa 1.

$$K = (L_b - L_o)/L_b \quad (1)$$

$L_b$  on kohteen luminanssi [ $\text{cd/m}^2$ ]  
 $L_o$  on taustaluminanssi [ $\text{cd/m}^2$ ]  
 $K$  on luminanssikontrasti.

Mikäli näön kohteella on valmiiksi heikko kontrasti, esimerkiksi tekstiä, jonka väri on lähellä taustaväriä, ei valo paranna tätä luontaista kontrastisuhdetta. Lisääntyneellä valolla voidaan kuitenkin parantaa pienempien kontrastierojen havainnointia, jolloin näkötehokkuus kasvaa, koska kontrastiherkkyys paranee. Kontrasti voi heiketä myös, jos valoa peilautuu näkökohteesta havaitsijan suuntaan, mitä kutsutaan harsoheijastumiseksi. (Kallasjoki 2015b: 9–10.)

### Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuuden tunnus on  $E$ , ja sen yksikkö on luks (lx), joka auki kirjoitettuna on  $\text{lm/m}^2$ . Valaistusvoimakkuus kertoo määrätylle pinnalle tai alueelle suuntautuvan valovirran määrän jokaisesta suunnasta. Valaistusvoimakkuuden laskentakaava on esitetty kaavassa 2.

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2)$$

$E$  on kohteen valaistusvoimakkuus [lx]  
 $\Phi$  on kohteen valovirta [lm]  
 $A$  on kohteen pinta-ala [ $\text{m}^2$ ].

Valaistussuunnittelun perustana toimii riittävän valaistusvoimakkuuden laskeminen valaistaville pinnoille. Kuitenkaan valaistusvoimakkuus itsessään ei kerro laadukkaasta valaistuksesta, tai edes kuinka hyvin ihminen pystyy näkemään, kuten luminanssin määritelmässä ilmeni. Valaistusvoimakkuutta käytetään yleisesti sen helpon laskettavuuden ja myös mittaamisen vuoksi. Eri valaistusvoimakkuustasoille on annettu standardeissa raja-arvoja erilaisille kohteille ja työtehtäville. (Kallasjoki 2015b: 5.)

Hyvä menetelmä arvioida sisätiloihin tarvittavaa keskimääräistä valaistustasoa tai valaisimien tarvittavaa määrä on hyötysuhdemenetelmä. Hyötysuhdemenetelmällä voidaan karkeasti huoneen keskimääräinen valaistusvoimakkuus. Menetelmän tarkkuutta parantaa, kun valaisimien sijoittelu on likimain tasajakoinen, jonka vuoksi se on soveltuva yksittäisten yksinkertaisten huoneiden arvioimiseen. Kaavassa 3 on esitetty hyötysuhdemenetelmän kaava.



$$E_k = \eta * \frac{N * \varnothing}{A} \quad (3)$$

$E_k$  on huoneen keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]

$\eta$  on valaistushyötysuhde

$N$  on valaisimien lukumäärä

$\varnothing$  on yhden valaisimen valovirta [lm]

$A$  on huoneen pinta-ala [m<sup>2</sup>].

Kaavasta 3 on johdettavissa valaisinasennuksen valaisimien tarvittava määrä, mikäli tiedetään haluttu valaistusvoimakkuus. (ST 57.40 2017: 5.)

#### Vaakatason valaistusvoimakkuus

Vaakatason valaistusvoimakkuus tarkoittaa nimensä mukaisesti vaakatason pintaan syntyvää valaistusvoimakkuutta eli valovirrantiheyttä. Vaakatason valaistusvoimakkuuden tunnus on  $E_h$  ja sen yksikkö on sama kuin valaistusvoimakkuudella yleensä eli luksi. Vaakatason valaistusvoimakkuus kertoo esimerkiksi tien pinnalle tulevan valaistuksen. (Pietilä 2015: 10.)

#### Pystytason valaistusvoimakkuus

Pystytason valaistusvoimakkuus tarkoittaa nimensä mukaisesti pystytason pintaan syntyvää valaistusvoimakkuutta eli valovirrantiheyttä. Pystytason valaistusvoimakkuuden tunnus on  $E_v$  ja sen yksikkö on sama kuin valaistusvoimakkuudella yleensä eli luksi. Pystytason valaistusvoimakkuus ilmaisee esimerkiksi seinän pinnalle tulevaa valaistusvoimakkuutta. (Pietilä 2015: 10.)

#### Puolipallovalaistusvoimakkuus

Puolipallovalaistusvoimakkuus tarkoittaa pienelle pallonpuolikkaalle syntyvää valaistusvoimakkuutta eli valovirrantiheyttä. Puolipallovalaistusvoimakkuuden tunnus on  $E_{hs}$ , ja sen yksikkö on sama kuin valaistusvoimakkuudella yleensä eli luksi. Puolipallovalaistusvoimakkuus on tärkeä ilmaisemaan pienten kolmiulotteisten esteiden tai kuoppien näkyvyyttä. (Pietilä 2015: 10.)

## Puolisylinterivalaistusvoimakkuus

Puolisylinterivalaistusvoimakkuus tarkoittaa pystyssä olevan sylinterinpuolikkaan pintaan syntyvää valaistusvoimakkuutta eli valovirrantiheyttä. Puolisylinterivalaistusvoimakkuus tunnus on  $E_{sc}$  ja sen yksikkö on sama kuin valaistusvoimakkuudella yleensä eli luxi. Puolisylinterivalaistusvoimakkuus on tärkeä kertomaan, kuinka hyvin esimerkiksi ihmisen kasvot näkyvät. Tällä on merkitystä sisävalaistuksessa ihmisten viestinnän yhteydessä. Ulkovalaistuksessa riittävä puolisylinterivalaistusvoimakkuus on myös tärkeää, sillä se auttaa tunnistamaan piha-alueella liikkuvia ihmisiä, joka on tärkeää sekä pihalla liikkuville että valvontakameroille. (Pietilä 2015: 10.)

## Häikäisy

Häikäisy jaetaan tavallisesti kahteen erilaiseen häikäisyn lajiin. Nämä ovat kiusa- ja estohäikäisy. Estohäikäisyssä silmään muodostuu harsoluminanssi, joka heikentää näkyvyyttä. Kiusahäikäisyssä aiheutuu epämiellyttävää häikäisyä näkemisessä, mikä ei välttämättä kuitenkaan estä itse näkemistä. Häikäisy voi syntyä suoraan valaisimesta tulevasta valosta tai epäsuorana valaistuksena jonkin pinnan heijastuksen kautta. (Kallasjoki 2015b: 29–30.) Kuvassa 2 on esitetty kuva hyvin häikäisevästä valaisin asennuksesta tämän työn kohteesta, jossa 400 W:n kapeakeilainen SpNa-valaisin, joka tarkoittaa suurpaineisellanatriumlampulla varustettua valaisinta, on asennettu matalalle ja suunnattu noin 45:n ° kulmaan.



**Kuva 2. SpNa-valaisin rakennuksen seinustalla.**

Häikäisystä on olemassa standardeissa ohjearvot eri työtehtäville niin sisä- kuin ulko-työalueille. Sisävalaistuksen häikäisyn arvoja arvioidaan nykyisin UGR-häikäisyindeksin arvolla, joka tulee englannin kielen sanoista Unified Glare Rating. Ulkovalaistuksen häikäisyn arvoja arvioidaan GR-häikäisyindeksin avulla, joka tulee englannin kielen sanoista Glare Rating ( $R_g$ ) (SFS-EN 12464-2 2014: 9). Tievalaistuksen häikäisyä puolestaan arvioidaan TI-häikäisyindeksillä.

Nykyisin suosituksissa on annettu myös pienimmät sallitut suojauskulmat suuriluminanssille valonlähteille eli valonlähteille, joiden pinta on hyvin kirkas. Valonlähteet, jotka ylittävät suosituksen arvot, ovat lähinnä ulkovalaistuksen suurpaineiset purkauslamput sekä ledit. Myös suuritehoisilla T5-loistelampuilla, halogeenilampuilla ja yksikantaloistelampuilla voi olla riittävän suuri pintaluminanssi. Yleisesti suosituksilla on vaikutusta lähinnä teollisuusvalaistukseen, sillä esimerkiksi toimistotiloissa suojauskulmat ovat jo valmiiksi suuria ja suurimmalla osalla loistelampuista pintaluminanssi jää alle suositusarvojen.

Keinoja häikäisyn rajoittamiseksi on rajaava tai hajottava häikäisy suojaus. Ulkovalaistuksessa rajaavana häikäisy suojauksena toimii valaisimen asentaminen riittävän korkealle, jolloin valonlähde ei ole näkökentässä. Hajottavana häikäisy suojana toimivat valaisimien erilaiset kuvut, joita esimerkiksi ulkovalaistuksessa voivat olla perinteiset pihapiirien opaalipallokuvut. (Kallasjoki 2015b: 29–30.)

## Tasaisuus

Valaistuksen tasaisuus kertoo, kuinka tasaisesti valaistus on jakautunut valaistavalle alueelle. Valaistuksen tasaisuus  $U_0$  määritellään alueen alimman valaistusvoimakkuuden suhteesta alueen keskimääräiseen valaistusvoimakkuuteen, kuten kaavasta 4 nähdään. (ST 57.40 2017: 6.)

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_k} \quad (4)$$

$U_0$  on kohdealueen tasaisuus

$E_k$  on kohdealueen keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]

$E_{min}$  on kohdealueen minimi valaistusvoimakkuus [lx]

Toisinaan määritellään raja-arvoja myös minimi- ja maksimivalaistusvoimakkuuksien suhteelle. Standardeista löytyy raja-arvoja valaistuksen tasaisuudelle eri työkohteissa niin sisä- kuin ulkotiloissa. Tavallisesti ulkotiloissa ja vähemmän tärkeissä tiloissa valaistuksen tasaisuuden arvolle ei ole asetettu kovia vaatimuksia. Esimerkiksi ulkotiloille heikommin tai vähemmän tärkeiden valaistusten kohteiden tasaisuus on luokkaa 0,25–0,4, kun tasaisuus sisätiloissa on ylipäänsä minimissään 0,4. (ST 57.40 2017: 6; SFS-EN 12464-2 2014: 15–20; SFS-EN 12464-1 2011: 38–69.)

### 3 Valonlähteet ja valaisimet

Tässä luvussa esitellään erilaisia valaisin- ja valonlähdetyppejä ja niiden ominaisuuksia. Luvussa esitellään myös yleisesti valaisimiin liittyviä teknisiä käsitteitä ja ominaisuuksia.

#### 3.1 Valaisimien tekniset ominaisuudet

Seuraavassa esitellään valaisimiin liittyviä teknisiä ominaisuuksia, joita voidaan valaisimiin itsessään valita. Valaisimen aiheuttama valovirta ja valovoima, joihin voidaan myös konkreettisesti vaikuttaa, on esitetty luvussa 2 valaistuksen suureina.

##### IP-Luokitus

IP-luokka (Ingress Protection) kertoo sähkölaitteiden kotelointiluokan. Sähkölaitteiden kotelointiluokista on olemassa standardi SFS-EN 60 529 + A1. Valaisimien koteloinnin tarkoitus on suojata valaisinta vierailta esineiltä sekä veden sisäänpääsystä. IP-luokan ensimmäinen numero kertoo, miten valaisin on suojattu vierailta esineiltä tai pölyltä. Toinen numero kertoo, kuinka tehokkaasti valaisin on suojattu vedeltä. Mitä korkeampi luku on sitä tehokkaammin se on suojattu. Ensimmäisen numeron mahdolliset lukuarvot ovat 0–6 ja toisen numeron arvot 0–8, jolloin IP 68 on suojatuin luokka. IP-luokan ilmoittamisessa voidaan myös käyttää yhtä tai kahta lisäkirjainta, mutta tämä on harvinaisempaa valaisimien kohdalla. Aiemmin IP-luokituksen yhteydessä on käytetty kolmatta lukua, joka on kertonut kotelon IK-luokituksen, mutta tämä ilmoitetaan nykyään erikseen. (Kotelointiluokka kertoo sähkölaitteesta kaiken oleellisen 2015.)

##### IK-Luokitus

IK-luokitus, joka on lyhenne sanasta iskunkesto, kertoo laitteen kotelon mekaanisen iskunkeston jouleina. IK-luokka ilmoitetaan standardin IEC 62 262 mukaisesti. IK-luokituksessa on käytössä lukuarvot 0–10, jossa 0 tarkoittaa suojaamatonta. Suurempi luku ilmaisee parempaa iskunkestävyyttä. (Kotelointiluokka kertoo sähkölaitteesta kaiken oleellisen 2015.)

## Eliniänmääritelmä

Valaisimen eliniästä puhuttaessa tarkoitetaan etenkin ledivalaisimissa valovirran pysyvyyttä. Ledivalaisimien eliniän määritelmä on ilmoitettu standardissa IEC 62722. Standardin mukaan ledivalaisimien valovirran pysyvyys tulee määrittää määritetyn käyttöajan jälkeen, joka on 25 % nimellisestä valaisimen eliniästä, mutta korkeintaan 6 000 tuntia. Testissä valaisimen valovirta mitataan 1000 tunnin välein ja tulokset ekstrapoloidaan standardissa IES TM21 määritellyn metodin mukaisesti. (Ledien elinikä 2018.)

Elinikä ilmoitetaan valovirran alenema annetussa ympäristön lämpötilassa, joka on oletuksena  $T_a$  25 °C. Yleisin tapa ilmaista ledivalaisimen elinikä on ilmoittaa elinikä arvolla  $L_xB_y$ , jossa L-arvo tarkoittaa, kuinka monta prosenttia alkuperäisestä valovirrasta on jäljellä ja B-arvo tarkoittaa, kuinka suurella osalla valovirta on alle annetun L-arvon. Mediaaniksi eliniäksi kutsutaan  $L_xB_{50}$  merkintätapaa. Eliniän merkitsemisessä voidaan käyttää C-arvoa, joka ilmaisee täydellisesti rikkoutuneiden valaisimien prosenttiosuuden eliniän lopussa. F-arvoa voidaan myöskin käyttää valaisimen eliniän määrittelyssä, mikä puolestaan on yhdistelmä sekä asteittaista vikaantumista (B-arvo) että täydellistä vikaantumista (C-arvo). (Ledien elinikä 2018.)

Esimerkiksi elinikä 100000 h  $L_{80}B_{50}$  tarkoittaa, että 100 000 tunnin jälkeen 50 % valaisimista tuottaa alle 80 % alkuperäisestä valovirrasta. Tämä voi pahimmassa tapauksessa tarkoittaa, että 50 % valaisimilla voi olla valovirta enää 1 % alkuperäisestä ja loppuilla valaisimilla tasan 80 %. (Ledien elinikä 2018.)

Valaisimien liitälaitteillakin on elinikä, joka ledivalaisimien myötä saattaa usein olla lyhempi kuin ledimoduulin elinikä. Liitälaitteen elinikä määritellään suhteessa ympäristön lämpötilaan. Tyypillisesti liitälaitte valmistajat ilmoittavat, missä lämpötilassa saavutetaan annettu elinikä määritellyllä vikatiheydellä. Tavallinen liitälaitteen elinikä on 50 000 h 10 %:n vikatiheydellä, mikä tarkoittaa 0,2 %:n vikatiheyttä tuhatta tuntia kohtaan. Erityisesti teollisuutta varten on suunniteltu pitkäikäisempiä liitälaitteita, joiden elinikä saattaa olla 100 000 h 10 %:n vikatiheydellä. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009: 487)

## Ympäristön lämpötila

Ympäristön lämpötilalla on suuresti vaikutusta etenkin ledivalaisimien elinikään, mutta se vaikuttaa oleellisesti myös valaisimen muihin ominaisuuksiin, kuten valaisimen tuottamaan valovirtaan.  $T_a$ -luokituksella, joka tulee sanoista temperature ambient, voidaan ilmaista valaisimen maksimi- ja minimilämpötila. Mikäli lukua ei anneta, on se oletuksena 25 °C:tta. Yleisesti kaikki valaistustekniset arvot on esitetty  $T_a$  25 °C:n ympäristön lämpötilassa, mutta etenkin teollisuusvalaisimille voidaan esittää myös valaisimen elinikä maksimi lämpötilassa  $Max T_a$ . (Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0 2016.)

Valaisimen  $T_a$ -luokitusta tarkastaessa tulee huomioida myös itse liitälaitteen maksimi  $T_a$ -luokitus, joka ei välttämättä ole sama kuin ledimoduulin. Karkeasti liitälaitteen elinikää voidaan arvioida suhteessa ympäristön lämpötilaan siten, että 10 °C lämpötilan muutokset puolittavat lämpötilan kasvaessa tai tuplaavat lämpötilan laskiessa liitälaitteen eliniän. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009: 29.)

## Heijastimet

Heijastimella on etenkin kaksi päätarkoitusta, jotka ovat optiikka ja häikäisysuojaus. Perinteiset ympärisäteilevät lamput ovat tarvinneet heijastamia, jotta valoa saadaan suunnattua haluttuihin paikkoihin. Myös ledeillä voidaan käyttää heijastimia ja optiikoita erilaisten valonjakojen aikaansaamiseksi. Erityisesti ns. retrofit-lampuilla tarvitaan heijastimia, sillä retrofit-lamput jäljittelevät perinteisiä ympärisäteileviä lamppuja.

Heijastimet tehdään tavallisesti anodisoidusta alumiinista, jolla on hyvä heijastussuhde (>92 %). Heijastimet voidaan optimoida käyttötarkoituksen mukaan muotoilemalla eri tavalla, jolloin voidaan painottaa hyvää optista hyötysuhdetta tai häikäisysuojausta. Heijastimien puhtaudesta tulee pitää hyvää huolta, sillä se vaikuttaa olennaisesti valaisimen hyötysuhteeseen. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009: 25–26.)

## Häikäisysuojat

Häikäisysuojilla voidaan rajoittaa häikäisyyä. Tämä voidaan tehdä kahdella tapaa, joita ovat hajottava tai rajaava häikäisysuojaus. Erilaisilla ritoilla tai heijastimen muotoilulla voidaan rajata valonlähteen näkymistä. Hajottava häikäisysuoja toimii siten, että valon-

lähteen luminanssi jaetaan suurelle pinta-alalle, joka voi olla esimerkiksi valaisimen kupu.

Hajottavia häikäisysuojia löytyy useita erilaisia ja niillä on luonnollisesti omat ominaisuutensa. Esimerkiksi opaalilevyllä on heikompi hyötysuhde kuin mikroprisma häikäisysuojalla, vaikka molemmat on tehty akryylilevystä. Esimerkiksi opaalilevyllä voi olla noin 30–40 % heikompi hyötysuhde suhteessa mikroprismaan. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009: 25–26.)

## Materiaalit

Valaisimien valmistuksessa voidaan käyttää useita erilaisia materiaaleja. Materiaaleilla on suuri merkitys valaisimen hintaan, ulkonäköön, valaisinrungon elinikään ja muihin ominaisuuksiin. Erilaiset tilat vaativat materiaaleilta erilaisia ominaisuuksia, jonka vuoksi käytettyihin materiaaleihin tulee kiinnittää huomiota valaisimen rungon että häikäisysuojien osalta. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

Painevaletun alumiinin etuna on erinomainen lujuus painoonsa nähden. Alumiini on myös helppo kierrättää, kun valaisin on saavuttanut elinikänsä lopun. Puhdasta alumiinia käytetään myöskin sen hyvän heijastusominaisuuksien vuoksi. Epäpuhtaamman materiaalin pinnoittamista puhtaalla alumiinilla kutsutaan plateeraamiseksi. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

Käsittelemätön terästä käytettäessä tulisi pinta pinnoittaa korroosion estämiseksi. Pinnoittamisessa voidaan käyttää jauhemaalasta, joka on tavallisesti tehty epoksin polyesterin sekoituksesta. Korroosion kestävyuden varmistamiseksi saatetaan tehdä muutamakin maalauskerros. Käsittelemätöntä terästä käytetään yleensä kuivissa sisätiloissa. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

Alumiini-sinkkipinnoitettu teräs on hyvin korroosion suojattua materiaalia. Alumiinisinkitty pellin valmistusperiaate on sama kuin kuumasinkityn teräksen, mutta siinä käytetään seosta, jossa on sekä alumiinia että sinkkiä. Alumiinisinkin käyttäminen on varsin kustannustehokasta, sillä materiaali itsessään ei tarvitse maalausta muuta kuin ulkonäkösyistä. Materiaalia käytetään yleisesti teollisuudessa sekä valaisimien kiinnikkeissä ja ruuveissa, jotka eivät näy valaisimissa mutta vaativat kuitenkin ruosteensuojausta.



SSAB on rekisteröinyt Aluzink® tuotemerkin. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

Haponkestävän ruostumattoman teräksen ruosteenkestävyys on erittäin hyvä ja muutoinkin materiaali on kestävä esimerkiksi happoja ja suoloja vastaan. Ruostumaton teräs on hieman korroosiolle herkempää materiaalia suhteessa haponkestävään ruostumattomaan teräkseen. Ruostumattomia teräksiä käyttäessä tulee huomioida valaisimien puhtaanapito, sillä materiaalien ruosteenkesto perustuu hapen ja pinnan kosketukseen. Tästä johtuen, mikäli valaisimen pinta on liian likainen, ei happi pääse kosketukseen teräksen kanssa, mikä johtaa materiaalin ruostumiseen. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

Muovia käytetään myöskin hyvin paljon valaisimien materiaalina, sillä se on huomattavan kevyt verrattuna metallisiin rakenteisiin ja se antaa vapautta tuotteiden muotoiluun. Muovilaatuja on monenlaisia ja niiden sopivuus erilaisiin ympäristöihin tulee huomioida suunnittelussa. Teollisuusvalaisimissa muovia käytetään enimmäkseen häikäisysuojissa, sillä rungot tehdään useimmiten metallista paremman kestävyysvuoksi. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

PVC eli polyvinyylikloridi on polymeeriä. PVC muovin ongelma on, että palaessaan se synnyttää suolahappoa ja kloorattuja hiilivetyjä, sillä se sisältää klooria, ja savukaasut ovat syövyttäviä, jotka turmelevat metalli- ja elektroniikkaosia. PVC:tä käytetään sekä valaisimen materiaaleissa että valaisimen sisäisissä kaapeloinneissa. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

PC eli polykarbonaatti on läpikuultavaa muovia, jonka kestävyys on erinomainen alhaisissakin lämpötiloissa. Polykarbonaattia käytetään paljon tuotteissa, joilta halutaan ilkeän kestoa eli IK-luokitusta, minkä vuoksi se on yleinen teollisuuden ja julkisivuvalaisimien materiaali. Polykarbonaatin heikkouksia on sen naarmuuntuminen ja kellastuminen UV-valon takia. Luontaisesti polykarbonaatilla on heikko UV-suojaus, mutta sen pintaa voidaan käsitellä erilaisin suoja-ainein. Polykarbonaatti on myös herkkä erilaisille kemikaaleille kuten emäkselle. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

PMMA eli polymetyylimetakrylaatti, josta käytetään myös kaupallista nimeä Plexiglas® ja akryylimuovi. Se on erittäin valoa läpäisevää materiaalia, jonka vuoksi sitä käytetään paljon optisissa tarkoituksissa kuten kuvuissa. Se on hyvin soveltuva ulkotiloissa käy-

tettäväksi, sillä se on UV-stabiloitu ja kestävä materiaali moninaisia sääolosuhteita vastaan. Sitä voidaan käyttää myös ympäristöissä, joissa esiintyy emäksisiä liuoksia, mutta vahvat hapot kuten alkoholi ja asetonit turmelevat sen, mikä tulee erityisesti huomioda valaisimia huoltaessa. Materiaali on haurasta ja sillä on kohtalaisen alhainen lämmönkestävyys, jonka vuoksi sitä ei tulisi käyttää yli 55 asteen lämpötiloissa. RÖHM on rekisteröinyt Plexiglas® -tavaramerkin. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

PP eli Polypropeeni on yksi yleisimmistä kestopuovilajeista. Materiaalin etuja ovat sen väsymislujuus, jonka vuoksi sitä käytetään paljon saranoiduissa rakenteissa, lisäksi materiaalin lämmönkestävyys on suhteellisen hyvä. Materiaalin heikkouksia ovat sen hauraus alhaisissa lämpötiloissa sekä UV-suojaus ilman lisäaineita. Valaisimissa polypropeenia käytetään esimerkiksi päätykansissa. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

PC/ABS on yhdistelmä materiaali polykarbonaattia sekä akryylinitriilibutadieenistyyrenia (Muovisanastoa 2018). Muoveja voidaan sekoittaa keskenään, jotta saadaan tuotteelta halutut ominaisuudet. PC/ABS on luja materiaali, jonka sään- ja lämmönkestävyydet ovat myös hyviä. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009 39–42.)

## Valonjako

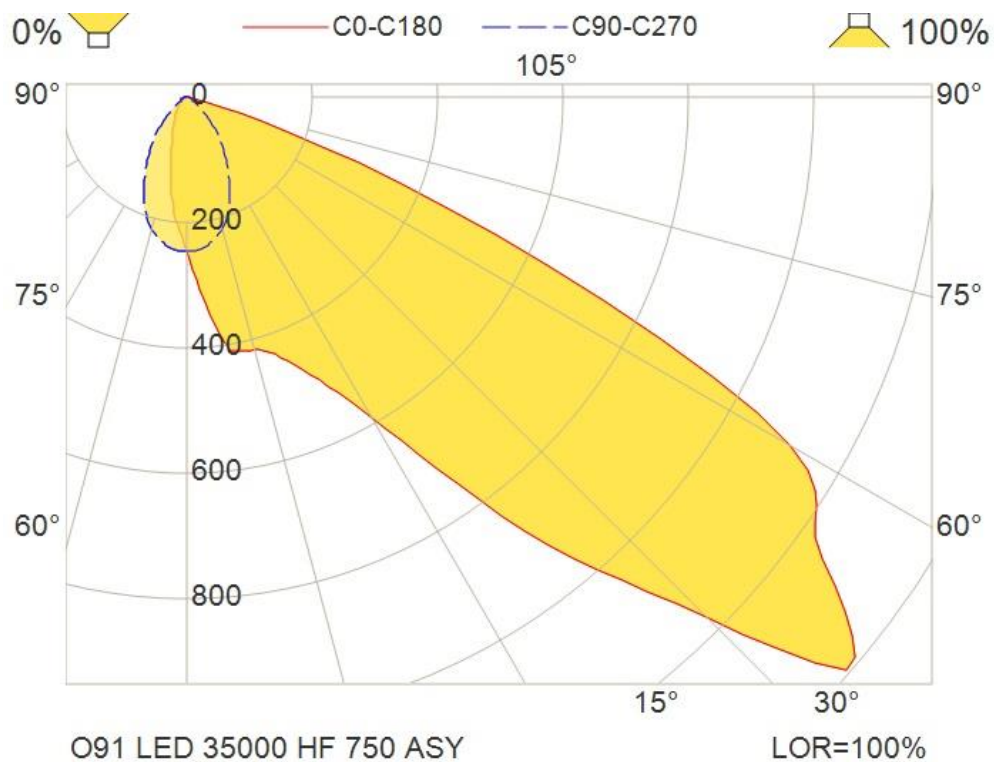
Valaisimilla voi olla useita erilaisia valonjakoja, jotka riippuvat pitkälti valaisimissa käytettävistä erilaisista optiikoista, heijastimista ja häikäisysuojista. Valaisimien valmistajat ilmoittavat valonjakokäyränsä tuoteluetteloissaan. Valonjakokäyrissä on ilmoitettu valaisimen tai valonlähteen valovoima tavallisesti napakoordinaatistossa, mutta myös suorakulmaista koordinaatistoa saatetaan käyttää kapeakeilaisille valaisimille, josta valovoimakkuuden arvot ovat helpommin luettavissa. Perinteisten valaisimien valonjakokäyrissä ilmoitetaan myös valaisimen hyötysuhde. Tämä on tarpeellista, sillä valaisimiin voidaan asentaa erilaisia lamppeja. Ledeille ei tätä arvoa ilmoiteta erikseen. (Varsila 2016: 16; Kallasjoki 2015b: 4–5.)

Valonjakokäyrien lisäksi voidaan käyttää nimityksiä jaottelemaan erikeilaiset valonjaot karkeasti omiin luokkiinsa. Taulukossa 1 on esitetty joitakin nimeämistapoja erilaisille valokeiloille.

Taulukko 1. Valonjako (Tuotetekstien selitykset 2018).

Valokeila	Selite
ASY	Epäsymmetrinen valonjako
SYM	Symmetrinen valonjako
NB	Kapea valonjako
MB	Keskileveä valonjako
WB	Leveä valonjako
XA	Erittäin epäsymmetrinen valonjako
12°	12 asteen valonjako
UP-F	Heitinoptiikka
ASYM 53°(-23°;+7°)/2x32°	64° keila leveys suunnassa, 53 kulmassa pääpaino pituussuunnassa

Valaisinvalmistajat nimeävät tuotteidensa valonjakoja oman tapansa mukaisesti joko numeerisesti tai lyhentein. Katuvaloille on olemassa myös omat nimityksensä.



Kuva 3. Erään Glamox valaisimen valonjakokäyrä (O91 LED 35000 HF 750 ASY).

Kuvassa 3 näkyy epäsymmetrisen valaisimen valonjakokäyrä, jossa on esitetty valon suunta leveys- ja pituussuunnassa napakoordinaatistossa. Valaisimelle on myöskin

ilmoitettu valon jakautuminen horisontaalisesti sekä valaiseminen hyötysuhde, joka ledi-valaisimilla merkitään tavallisesti 100 % tai sitä ei merkitä ollenkaan.

### Värintoistoindeksi

Värintoistoindeksillä  $R_a$  ilmaistaan valonlähteen kykyä toistaa värejä. Valonlähteen  $R_a$ -indeksi määritellään testissä, jossa valonlähteen valoa testaan kahdeksan testiväriin avulla siten, että kuinka värit muuttuvat suhteessa testivaloon. Verrokkivalonlähteinä testissä toimivat hehkusäteilijät, kun testattavan valonlähteen värilämpötila on alle 5000 K, ja luonnonvalo, kun testattavan valonlähteen värilämpötila on yli 5000 K. Tästä johtuen hehkusäteilijän  $R_a$ -indeksi on täydet 100.  $R_a$ -indeksin arvot ovat 0–100 pistettä, joissa suurempi luku tarkoittaa parempaa värintoistoa. Värintoistoindeksin lyhenne on englanniksi CRI eli colour rendering index. (Kallasjoki 2015b: 17; Onko värintoistoindeksi CRI tärkeä lukema ja mitä se kertoo? 2018.)

### Värilämpötila

Värilämpötila ilmaisee valonlähteestä sen, onko se lämpimän, neutraalin vai kylmän sävyistä. Värilämpötila ilmaistaan Kelvin-arvoina. Kelvin-arvo seuraa CIE väri avaruudessa Planckin säteilijää, joka vastaa suoraan hehkusäteilijän lämpötilaa. Purkauslamppujen ja ledien värilämpötilaa määrittäessä käytetään niille määritettyä ekvivalentista värilämpötilaa, sillä purkauslamppujen väripisteiden arvot eivät osu hehkusäteilijän väripisteiden linjalle. (Kallasjoki 2015c.) Kuvassa 4 on havainnollistettu eri värilämpötilojen eroja.



Kuva 4. Erilaisia värilämpötiloja (Colour temperature 2018).

Ledien värilämpötila voi muuttua ajan myötä, ja ledien valmistuksessa syntyy valovirraltaan ja värilämpötilaltaan toisistaan poikkeavia ledejä. Tämän vuoksi ledivalaisinvalmistajat valitsevat rajoitetusti erilaisia ledisiruja tuotteisiin. Tätä menetelmää kutsutaan binningiksi eli jaotteluksi. (Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri 2018.)

Ledituotteiden värilaatu eli värilämpötilan tarkkuus ilmoitetaan MacAdamin ellipseillä standardin CIE 1964 mukaan. Kyseisessä standardissa värinlaatua arvioidaan asteikolla 0–10, jossa pienempi luku tarkoittaa pienempää hajontaa eli parempaa värinlaatua. Tavallisesti sisävalaistuksessa käytetään parempaa värinlaatua ja ulkoiloissa hieman heikompia. Erikoiskohteissa, kuten gallerioissa ja museoissa, värilaadun olisi hyvä olla luokkaa 2, jolloin värissä ei näy juurikaan eroja. (Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri 2018.)

#### Valaisimen hyötysuhde

Valaisimen kokonaisenergiankulutus koostuu monesta osatekijästä. Perinteisten valonlähteiden kanssa valaisimesta ulostuleva valovirta on pitänyt laskea aina valaisin- ja valonlähdekohtaisesti. Nykyisillä ledivalaisimilla, kun valaisin on pääsääntöisesti kokonaisuus, voidaan valaisimen valotehokkuus ilmoittaa valonlähteineen, koska valonlähde on itsessään integroitu valaisimeen. Toisinaan valovirta saatetaan esittää kuten perinteisissä valaisimissa eli annetaan valaisimelle hyötysuhde ja itse ledimoduulille annetaan valovirta. Kuitenkin ledivalaisimissakin energiatehokkuus koostuu monesta osatekijästä, joita ovat liitäntälaitte, heijastinoptiikka, häikäisysojat ja itse led tai ledi-

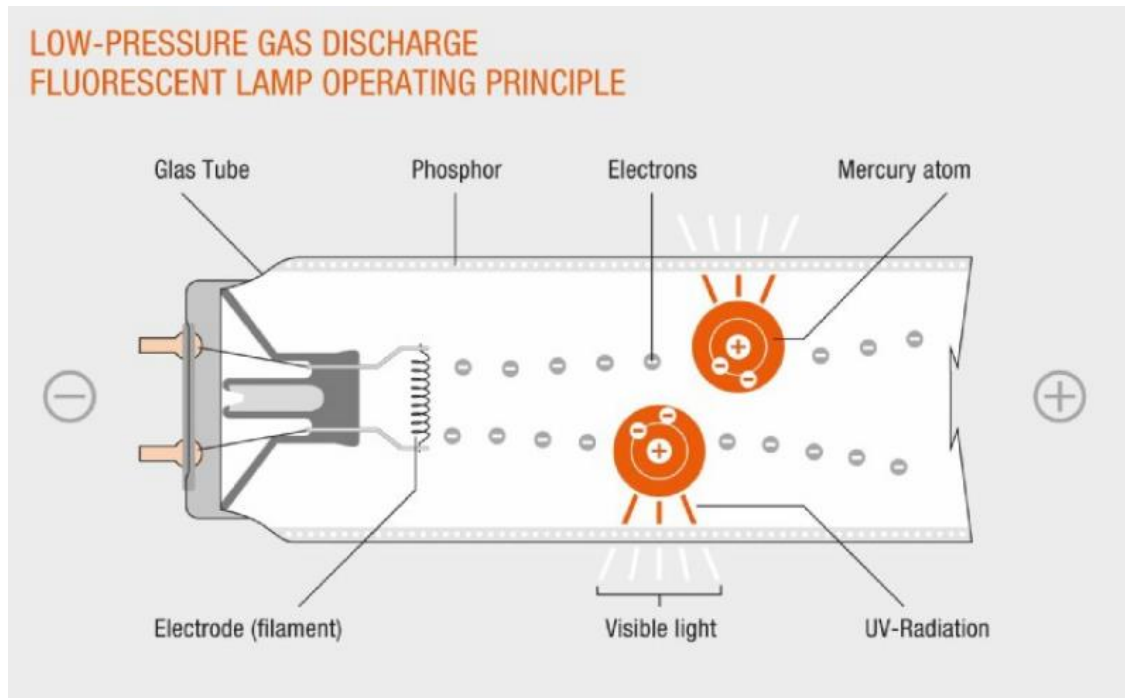
moduuli. Huomioitavaa on myös sekin, että valaisimen hyötysuhteeseen vaikuttaa ympäristön käyttölämpötila. (Varsila 2016: 19.)

Mikäli eri ympäristön lämpötiloille ei ole annettu erillisiä valotehokkuuksia, on oletuksena annettu valotehokkuus  $T_a$  25 °C. Erityisesti ledivalaisimet toimivat paremmalla hyötysuhteella viileämissä ympäristön lämpötiloissa. Valaisimen energiatehokkuus ilmoittaa, kuinka paljon valovirtaa syntyy wattia kohden eli lm/W. (Varsila 2016: 19.) Nykyisin yksittäisillä ledisiruilla voi helposti olla laboratorio-olosuhteissa yli 200 lm/W:n valotehokkuus, mutta itse valaisimen valotehokkuus on pienempi. (Kallasjoki 2015b: 36).

### 3.2 Tyypilliset valonlähteet ulkovalaistuksessa

#### Loistelamppu

Loistelamppu on pienpainainen purkaussäteilijä. Loistelamppu tarvitsee toimintaansa varten virranrajoittimen, jona toimii tavallisesti kuristin sekä sytyttimen (Kallasjoki 2015b: 20). Nykyisin tulee käyttää energiatehokkaampia elektronisia liitäntälaitteita, jotka myös mahdollistavat loistelamppujen tehokkaamman ohjaamisen. Elektronisen liitäntälaitteen etuja verrattuna kuristinkäyttöön on myös valon värisemättömyys ja loistelamppujen polttoajan kasvattaminen keskimäärin 15 %. (Valaistussuunnittelijan käsikirja 2009: 28.) Kuvassa 5 on esitetty loisteputken toiminnallinen periaate valontuottamiseksi.



Kuva 5. Loistelampun valontuoton periaatekuva (Martikainen 2016: 23).

Valon tuottaminen loistelampussa perustuu elohopeaan, jota lampuissa on pienen pisan verran. Syntynyt purkaus, joka on ultraviolettivaloa, muutetaan ihmiselle näkyväksi valoksi lampun kuvun loisteaineen avulla. Erilaisten loisteaineyhdistelmien avulla voidaan tuottaa erilaisia värisävyjä lämpimistä sävyistä kylmiin värisävyihin. Loistelamppuja on erikokoisia, mikä osaltaan määrittelee valaisimisesta saatavan valovirran. Loistelamppuja on myös halkaisijaltaan erisuuruksina, jotka ovat määritelty tuumakokoina. Eri kokoja ovat esimerkiksi T12 (38 mm), T8 (26 mm), T5 (16 mm) ja T2 (7 mm), jotka tarkoittavat tuumina 12/8, 8/8, 5/8. Pienempi halkaisija on yleensä parantanut lampun hyötysuhdetta, sillä se esimerkiksi varjostaa vähemmän omaa valoaan. (Martikainen 2016: 25; Kallasjoki 2015b: 20.)

Loistelamppuja on saatavilla sekä kaksikantaisina että yksikantaisina, joista kaksikantainen on energiatehokkaampi. Loistelamppu on varsin valotehokas (60–100 lm/W) ja sillä on pitkä polttoikä (12 000–16 000). Loistelamppujen energiatehokkuus riippuu ympäristön lämpötilasta sekä loistelampun tyypistä, ja etenkin kylmässä loistelampun energiatehokkuus laskee sekä lampun syttyminen hidastuu, mutta myös kuumissa lämpötiloissa loistelampun energiatehokkuus laskee. Loistelamppuja on saatavilla lukuisia erikoisversioita, joita voivat olla esimerkiksi pakkasloistelamput tai pitkäikäiset loistelamput. (Martikainen 2016: 24; Kallasjoki 2015b: 20.)

## Elohopealamppu

Elohopealamppu on suurpaineinen purkaussäteilijä. Vastaavasti kuin loistelampussa elohopeahöyryssä syntyvä purkaus muunnetaan ihmiselle näkyväksi valoksi loisteaineen avulla. Elohopealamppu ei tarvitse erillistä sytytintä, sillä lampun sytyttäminen hoituu lampun sisällä olevan apuelektrodin kautta, mutta kuten muissakin purkaussäteilijälamppuissa tulee virtaa rajoittaa esimerkiksi kuristimen avulla. Kuvassa 6 on esitetty elohopealamppun ulkomuotoa.



**Kuva 6. Elohopealamppun ulkoinen muoto himmeäpintaisella lasilla (Martikainen 2016: 39).**

Vakiolampulla valonväri on 3800–4000 K ja  $R_a$ -indeksi 40, joka on melko huono. Saatavilla on myös lämpimämpiä värisävyjä n. 3000 K asti sekä paremmalla  $R_a$ -indeksillä (60). Valonlähteen elinikä on erittäin pitkä, mutta eliniän loppupuolella lampun valovirta laskee voimakkaasti, minkä vuoksi käytännössä lampun käyttöikä voidaan pitää 16 000 tuntia. Lampun valotehokkuus on noin 40–60 lm/W, joka ei pärjää nykyisellään uusille valonlähteille. Elohopealamppun huonon valotehokkuuden vuoksi sen markkinoille tuominen on ollut kielletty Erp-direktiivin vuoksi 13.4.2015 lähtien, mikä on aiheuttanut hyvinkin suuria uudistustöitä, koska Suomen tievalaistuksesta noin puolet on ollut toteutettu elohopealampuilla. (Kallasjoki 2015b: 21.)

## Monimetallilamppu

Monimetallilampuissa on suurpaineinen purkaussäteilijä. Monimetallilamppu tarvitsee syttyäkseen elektronisen sytytyslaitteen, joka antaa lampulle korkean jännitepulssein. Monimetallilampussa käytetään muita metallien halogeeniyhdisteitä elohopean lisäksi, mikä antaa lampulle hyvän valotehokkuuden ja erittäin hyvän värintoiston suhteessa



elohopealamppuun. Monimetallilamputta voidaan käyttää erilaisia metalliyhdisteitä erilaisten spektrijakaumien tavoittelemiseksi. Kuvassa 7 on esitetty erilaisia monimetallilamppuja, josta huomataan, että monimetallilamppuja on saatavilla erilaisilla kannoilla ja kokoluokilla.



Kuva 7. Erilaisia monimetallilamppuja (Martikainen 2016: 32).

Monimetallilamput valotehokkuus on noin 80–120 lm/W, ja elinikä suuritehoisemmilla versioilla voi olla 16 000 tuntia, kun pienempitehoisilla lamput se voi olla 6000–8000 tuntia. Lamput löytyy laajalle tehoalueelle, sillä pienen kokonsa ansiosta sitä on alettu käyttää myös sisätiloissa ulkovalaistuskohteiden ohella. Lamput löytyy teholuokista 20–3000 W. Hyvän valotehokkuuden ja erinomaisen värintoiston vuoksi lamput käytetään tyypillisesti arvokkaammissa valaistuskohteissa, kuten kaupunkien keskustoissa, urheilualueiden valaistuksessa, kohdevalaisimissa ja myymälävalaistuksessa. (Kallasjoki 2015b: 21–22.)

#### Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppu on suurpaineinen purkauslamppu. Toisin kuin elohopea- tai monimetallilamputta suurpainenatriumlamput valontuotto perustuu natriumhöyryssä tapahtuvaan purkaukseen. Purkauksessa syntyvä valo osuu lähelle silmänherkkyyssäikäyrän maksimia, minkä vuoksi erillistä loisteainetta ei tarvita ja valotehokkuus on

erinomainen (100–150 lm/W). Kuvassa 8 on esitetty erilaisia suurpainenatriumlamppuja.



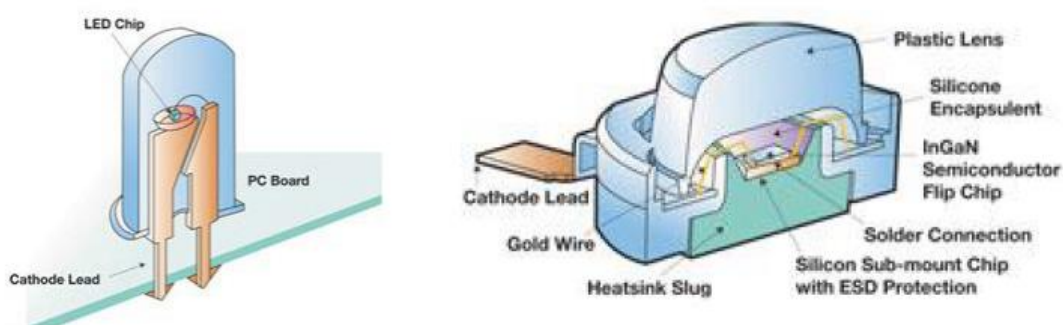
**Kuva 8. Erilaisia suurpainenatriumlamppuja (Martikainen 2016: 36).**

Lamppuja valmistetaan teholuokalle 35–1000 W ja suuritehoisemmat lamput ovat pitkäikäisiä 16 000 tunnin polttoajalla, mutta pienempitehoisemmat yltyvät vain noin 9000 tuntiin. Lampun  $R_a$ -indeksi on tavallisesti noin 20, joka on erittäin huono, ja valon väri on sävyltään oranssia. Suurpainelamppuja on saatavilla paremmalla värintoistolla, joka on toteutettu lampun ulkokupuun loisteainekerroksen avulla, mutta tämä samalla pienentää lampun elinikää sekä valotehokkuutta. Korkean valotehokkuuden ja heikon värintoistokyvyn vuoksi suurpainenatriumlamppuja käytetään tyypillisesti katu- ja puisto-valaistuksessa sekä korkeiden teollisuustilojen ja teollisuuden ulkoalueiden valaistuksessa. ErP-direktiivi on rajoittanut myös energiatehottomimpien suurpainenatriumlamppujen markkinoille saattamista, mutta jokaiseen teholuokkaan on jäänyt korvaavia suurpainenatriumlamppuja. (Kallasjoki 2015b: 22–23.)

### 3.3 Led

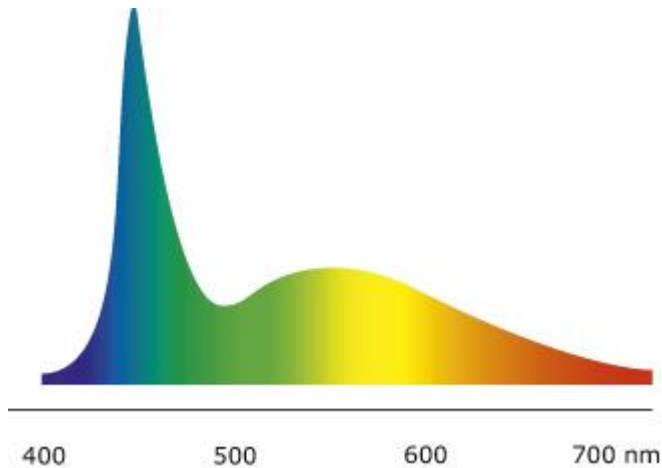
Ledi on valodiodi eli kyseessä on puolijohdekomponentti. Se hohtaa valoa, kun sen läpi kulkee myötäsuuntainen tasavirta. Ledi tarvitsee toimiakseen virtalähteen, joka muuntaa vaihtovirran tasavirraksi. Mitä suuremmalla virralla lediä syötetään sitä enemmän se antaa valoa, mutta samalla se synnyttää enemmän hukkalämpöä yksittäistä lediä

kohden. Ledien lämmönhallinta on erityisen tärkeää, sillä lämmöllä on erittäin suuri vaikutus ledin elinikään ja valovirran alenemaan. Valaistustarkoitukseen suunnitellut teholedit rakennetaan pintaliitoskomponentteina, joka mahdollistaa paremman jäähdytyksen ledille verrattuna radiaaliledeihin, joita käytetään yleisesti merkkivaloina. Kuvassa 9 on esitetty vasemmalla puolella radiaaliledin ja oikealla puolella teholedin periaatteellinen rakenne.



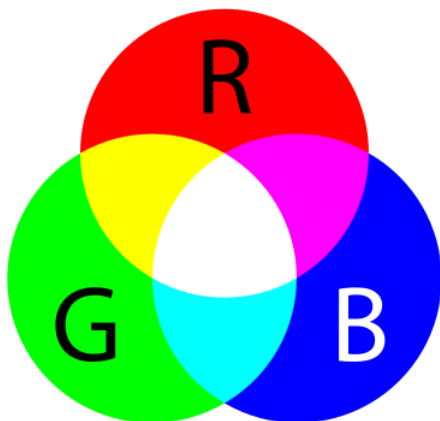
Kuva 9. Ledikomponentin rakenne (Kallasjoki 2015a: 3).

Ledivalaisimet eivät sisällä elohopeaa, minkä vuoksi ne eivät ole ongelmajätettä toisin kuin suurin osa muista ulkovalaistukseen käytetyistä lampputyypeistä. Valaistustarkoituksissa käytetty ledi ei lähetä lämpö- tai UV-säteilyä, minkä vuoksi energia, joka ei lähde valona ledikomponentista ulos, lämmittää ledikomponenttia. Itse ledin tuottama valo on aina värillistä valoa, joka voidaan eri tavoin muuntaa valkoiseksi valoksi. Yleisin tapa on hyödyntää sinistä lediä, jonka tuottama valo muunnetaan loisteaineella laajemmalle spektrialueelle, mistä syntyy valkoista valoa. Loisteaineen avulla voidaan tuottaa valoa vaihtelevilla värilämpötiloilla. Yleensä lämpimämmän sävyisillä ledeillä on heikompi valotehokkuus verrattuna kylmiin sävyihin, sillä osa valosta hukkuu loisteaineeseen. Kuvassa 10 on esitetty tyypillisen ledivalonlähteen spektri, josta nähdään hyvin, kuinka suuri sinisen valon piikki ledivalonlähteillä on.



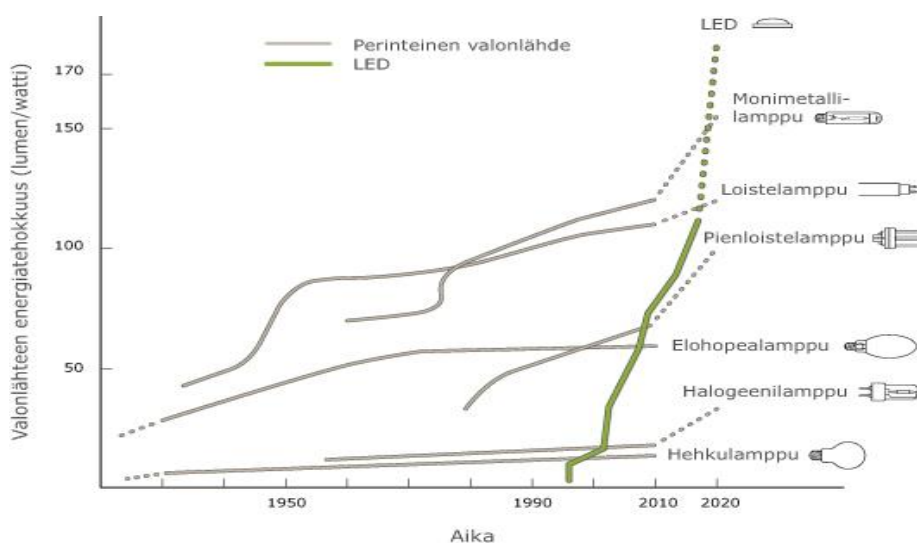
Kuva 10. Ledivalonlähteen spektri jakauma (Led perusteet 2018).

Toinen tapa tuottaa valkoista valoa on käyttää erivärisiä ledejä, joita yhdistelemällä saadaan tuotettua valkoista valoa. Yleisesti käytetään punaista, vihreään ja sinistä lediä, josta syntyy nimitys RGB-valaisin, joka tulee englanninkielisistä sanoista Red, Green ja Blue. Menetelmä antaa mahdollisuuden tuottaa rajattomasti erisävyistä valoa, jonka vuoksi sitä käytetään arkkitehtuurisessa valaistuksessa, mutta ei muissa sovel-luksissa, sillä menetelmä on kalliimpi verrattuna loisteaineen avulla tuotettuun valoon sinisestä ledistä. (Kallasjoki 2015b: 23–25.) Kuvasta 11 nähdään, kuinka eri värien päällekkäisyydet muuttavat valon väriä ja lisäämällä tasaisesti kaikkia värejä saadaan aikaiseksi valkoista valoa.



Kuva 11. Eri värien vaikutukset valon väriin (Kallasjoki 2015a: 3).

Ledien valotehokkuus on tällä hetkellä noin 160 lm/W, mutta se vaihtelee hyvin suuresti ledivalaisimien välillä, sillä ledin kehitys on ollut ja tulee vieläkin olemaan nopeaa. Valotehokkuus vaihtelee myös valaisinten ominaisuuksien ja suunniteltujen käyttökohteiden osalta, sillä lämmönhallinnalla on suuri vaikutus ledin elinikään. Vuoteen 2020 mennessä arvioidaan ledin valotehokkuuden kasvavan noin 200 lm/W ja markkinaosuuden myytävistä valonlähteistä olevan jo noin 80 %. (Led perusteet 2018.) Kuvassa 12 on esitetty valonlähteiden energiatehokkuuden kasvaminen ja potentiaalinen kasvu eri vuosikymmenillä.



Kuva 12. Valonlähteiden energiatehokkuuden kasvu (Led perusteet 2018).

Ledivalaisimia käytetään sekä sisä- ja ulkovalaistuksessa, mutta ne soveltuvat ulkovalaistukseen erinomaisesti, sillä ne toimivat erityisen hyvin kylmässä ja niiden elinikä laskennallisesti kasvaa, kun niitä käytetään alhaisemmissa lämpötiloissa. Ledit ovat luonnostaan soveltuvia kohde- ja korostusvalaistukseen, sillä ledikomponentti itsestään on hyvin suuntaava eikä ympärisäteilevä toisin kuin muilla valonlähteillä. Ledin pieni koko mahdollistaa hyvin arkkitehtuuristen valaisimien tekemisen. (Kallasjoki 2015b: 23–25.) Kuvassa 13 on esitetty Enston Perla -valaisin, jossa on hyödynnetty ledin mahdollistamia arkkitehtuuria ominaisuuksia.



**Kuva 13. Ensto Perla valaisin (Perla 2017).**

Ledin ominaisuuksiin kuuluu myös hyvä ohjattavuus, sillä led syttyy heti ja se voidaan sytyttää heti uudelleen sammuttamisen jälkeen. Sen himmentäminen on helppoa verrattuna useisiin muihin ulkovalaistuksessa käytettyihin lamppuihin. Lisäksi ledin sytyttäminen ja sammuttaminen ei vaikuta ledin elinikää alentavasti. Ledin himmentäminen parantaa sen hyötysuhdetta ja elinikää, sillä ledi käy tuolloin alemmalla lämpötilalla. (Martikainen 2016.)

## 4 Valaistuksen ohjaus

Tässä kappaleessa esitellään sekä perinteisiä että moderneja ohjaustapoja valaistukselle ja niiden ominaisuuksia. Valaistuksen ohjauksella tavoitellaan toiminnollisuutta, esteettisyyttä ja energiatehokkuutta tai joitakin näistä tavoitteista.

Valaistuksen ohjauksella voidaan vaikuttaa tilojen monikäyttöisyyteen, kun valaistusvoimakkuuden tasoa voidaan säätää työtilanteeseen sopivaksi ja mahdollistaa siten työympäristön muutokset ilman valaistuksen muuttamista. Vastaavasti ohjauksella voidaan muuntaa valaistus sopivaksi kunkin henkilön yksilöllisen tarpeen mukaiseksi, sillä ihmisillä on erilaisia mieltymyksiä valaistuksen suhteen sekä ihmisen näkö heikenee väistämättä ikääntymisen myötä. (Varsila 2016: 32–37.)

Valaistuksen ohjauksella voidaan myöskin stimuloida ihmistä valotasojen ja värilämpötilojen muutoksilla tai käyttää hyvin ihmislähtöistä valaistusta, jota kutsutaan dynaamiseksi tai ihmiskeskeiseksi valaistukseksi tai muulla nimikkeellä. (Kallasjoki 2015b: 35). Valolla on suuri merkitys ihmiseen viereystilaan ja jaksamiseen sekä ihmisen sisäiseen kelloon. Valaistuksella on siis muitakin vaikutuksia kuin visuaaliset vaikutukset. (Partonen 2016.)

Valaistuksen ohjauksella voidaan tuottaa huomattavia energiansäästöjä ja lisätä myös valaisimien elinikää, joka riippuu tosin ohjattavasta valonlähteestä. Erilaisilla ohjaustavoilla ja niiden yhdistelmillä sekä käyttöympäristöillä on vaikutusta valaistuksen ohjauksella saavutettavaan säästöpotentiaaliin. (Varsila 2016: 32–37.) Toinen vaikutus, joka ohjauksen avulla syntyvällä energiansäästöllä on mahdolliset vapaa ehtoiset ympäristösertifioinnit, joita ovat esimerkiksi LEED ja BREEAM. Näiden luokitusten avulla on mahdollista nostaa rakennuksen tai yrityksen imagoa. (18 Alkila 2017.) Kolmas asia, jolla energiatehokkuudella voidaan vaikuttaa, on rakennuksen E-luku, joka kertoo rakennuksen laskennallista energiankäyttöä erilaisilla kertoimilla painotettuna. (Kallasjoki 2016: 62–77).

#### 4.1 Perinteiset valaistuksenohjaustavat

##### Hämäräkytkin

Hämäräkytkin on yksi perinteisesti ulkovalaistuksessa käytetty ohjaustapa. Hämäräkytkin kytkee nimensä mukaisesti valot päälle hämärän tullessa. Tavallisesti hämäräkytkimen skaalausta voidaan muuttaa, jolloin voidaan määritellä, kuinka nopeasti kytkin reagoi hämärän tuloon. Hämäräkytkin on ollut ja on yhä soveltuva alueisiin, jossa saa olla valot päällä jatkuvasti, kun on hämärää tai pimeää. Hämäräkytkimen sijoitteluun tulee tosin kiinnittää huomiota, että ohjattavat valonlähteet tai muut ylimääräiset valonlähteet eivät häiritse kytkimen toimintaa valaistuksellaan. (Automaattinen ohjaus 2009.)

##### Kellokytkin

Kellokytkin on toinen hyvin perinteinen ohjausmenetelmä ulkovalaistuksessa. Kellokytkimellä on saavutettu hyvin vastaava toimintapa kuin hämäräkytkimellä. Kellokytkin ei ole ollut herkkä asennusvirheille, sillä ulkoiset tai alueen valonlähteet eivät toiminnallaan pysty vaikuttamaan kellokytkimen toimintaan. Kellokytkimen heikkoudeksi voi lukea sen lievän epätarkkuuden, sillä sitä tulisi jatkuvasti säätää syksyisin ja keväisin, kun päivän pituus muuttuu nopeasti. Myöskin säällä on merkitystä kellokytkimen toiminnan tarkkuuteen, sillä pilvisinä päivinä hämärä tulee huomattavasti nopeammin kuin selkeällä säällä. (Automaattinen ohjaus 2009.) Kellokytkimen moderniksi versioksi voidaan lukea astronominen kello, jonka toiminnassa on huomioitu vuodenaikojen muutos ja samaa laitteita voidaan käyttää eri puolilla maailmaa säätämällä alueen koordinaatteja. Kellon toimintaa voidaan siis säätää asettamalla laitteeseen sijainti esimerkiksi maanosan tai kaupunkien mukaan. (DTR-20 astronominen kytkinkello 2018).

##### Porrasvaloautomaatiikka

Porrasvalojen ohjauksessa on perinteisesti käytetty porrasvaloautomaatiikkaa, jossa eri kerrosten painikkeilla saadaan ohjaus aikareleellä, johon voidaan asettaa aika, kuinka kauan valot ovat päällä. Aikareleeseen säädettävä sopiva aika on luonnollisesti suhteessa kerroksien määrään tai käytön mukaan. Ohjaus sopii parhaiten nopeasti syttyville lamputteille kuten hehkusäteilijöille, mutta se on hyvin soveltuva myös retrofit-lamputteille. Suurpaineiset purkauslamput eivät sovellu porrasvaloautomaatiikan ohjattavaksi, sillä



kyseisiä lamppuja ei voi sytyttää ja sammuttaa useita kertoja peräkkäin (Kallasjoki 2015b: 21–23).

### Liiketunnistin

Liiketunnistimiakin on käytetty perinteisenä ohjaustapana. Liiketunnistin on soveltunut porrasvaloautomaatiikan ohella hehkusäteilijöiden ohjaamiseen parhaiten, sillä valonlähteen tulisi syttyä nopeasti, jotta se valaisi kulkureittiä, ja lisäksi ohjaustapa vaatii useita sytytyskertoja. Tämän vuoksi liiketunnistin ei ole soveltunut perinteisten suuritehoisten ja energiatehokkaiden valaisimien ohjaustavaksi esimerkiksi ulkovalaistuksessa. Halogeenilampulla varustettuja valonheittimiä on useasti ohjattu liiketunnistimilla, mutta nykyisellään kyseiset valonlähteet eivät ole energiatehokkuuden myötä varteenotettavia ratkaisuja.

### Rakennusautomaatio

Suuremmissa kiinteistössä on yleensä käytössä rakennusautomaatiojärjestelmiä ja teollisuudessa voi olla useita erilaisia järjestelmiä prosessin ohjausjärjestelmistä kiinteistön ohjausjärjestelmiin. Valaistusta saatetaan ohjata useasta eri keskuksesta, jolloin ei ole järkevää tuoda esimerkiksi hämäräkytkimen ohjaustietoa kytkimeltä itseltään jokaiseen paikkaan, vaan ohjaustieto viedään rakennusautomaatioon, josta se voidaan kootusti viedä tarvittaviin keskuksiin. Rakennusautomaation voidaan viedä useita erilaisia ohjauksia liittyen valaistukseen. Valaisinkeskuksen päässä on valaistuslähdölle tavallisesti nokkakytkin, josta voidaan valita käytetäänkö ohjausta, vai pidetäänkö lähtöä päällä riippumatta ohjauksen tilasta.

## 4.2 Nykyaikaiset ohjaustavat

Nykyaikaisilla valaistuksen ohjaustavoilla saadaan säästettyä energiaa huomattavia määriä, kun valoa tuodaan sinne, missä sitä tarvitaan. Ledien myötä valaistuksen ohjaaminen on monipuolistunut ja helpottunut, sillä ledit soveltuvat hyvin ohjattavaksi ja niiden ohjauksella saavutetaan suoraan säästöä ilman valotehokkuuden tai värintoiston heikennyksiä. Erityisesti sisävalaistuksessa ohjausta saadaan toteutettua energiatehokkaasti hyödyntämällä päivänvaloa vakiovaloantureilla. Valaistuksen ohjaustapoja ja on nykyisin useita erilaisia, ja ohjaus voidaan toteuttaa langallisena tai langattomana

erilaisilla tavoilla, kuten esimerkiksi hyödyntäen sähköverkossa tapahtuvaa tiedonsiirtoa.

Useastikaan ulkovalaistuksessa ei ole tarpeen sammuttaa valaisimia kokonaan, sillä alueen valaistus toimii omaisuuden turvana ja luo turvallisuuden tunnetta alueella oleville ja mahdollistaa teollisuudessa ulkona tehtävien tarkastuskierrosten tekemisen ja mahdollisten vuotojen tai muiden ongelmien havaitsemisen kauempaakin. Nykyisillä ohjaustavoilla voidaan sen sijaan himmentää valaistusta alueilta, joissa ei ole liikettä ja valaista täydellä teholla, kun liikettä havaitaan alueella. Antureita voidaan asentaa esimerkiksi valaisinkohtaisesti, jolloin valaistus on hyvin dynaamista ja tarkkaa.

### DALI, Digital Addressable Lighting Interface

Dali on digitaalinen osoitteellinen ohjaus, jota määrittelee standardi IEC 62386. Dali on siis valaisinvalmistajien yhdessä kehittämä valaistuksenohjausjärjestelmä, jonka vuoksi samaa järjestelmää pystytään käyttämään osin eri valmistajien kesken. Standardin ongelma on ollut, että se koskettaa vain ohjaimen ja liitäntälaitteen rajapintaa, jolloin eri valmistajien ohjaimia ei ole voinut asentaa samaan järjestelmään. Dali-standardista on tullut uusi versio, jossa sertifioidaan DALI 2-laitteet. Uudet laitteet tulevat olemaan yhteensopivia myös vanhempien dali-laitteiden kanssa. Uuden standardin myötä standardi koskee jatkossa myös ohjaimia, sensoreita ja paneeleita, jonka vuoksi jatkossa on mahdollisuus sekoittaa eri valmistajien laitteita keskenään lähes ongelmitta. (DALI-järjestelmän suunnittelussa huomioitavia asioita 2017.)

Dalissa kaapelointi toteutetaan parikaapeliväylän kautta, johon kaikki valaisimet ja ohjauslaitteet asennetaan. Valaisimien ryhmittely toteutetaan määrittelemällä valaisimille osoitetiedot. Tämän vuoksi mahdolliset rakennuksen tilamuutokset eivät aiheuta kaapelointimuutoksia ohjauskaapeloinnille ohjauksen muuttamiseksi, vaan valaisimien ryhmittelyä tulee vain uudelleen ohjelmoida. Myös uudet valaisimet tulee ohjelmoida järjestelmää laajennettaessa. (DALI-järjestelmän suunnittelussa huomioitavia asioita 2017.)

### Radio-ohjaus

Melko uutena valaistuksen ohjaus tapana on RF-ohjaus, joka tulee sanoista radio frequency, eli ohjaaminen radioaalloilla. Radio-ohjauksen etu on verrattuna esimerkiksi

IR-ohjaukseen eli infrapunaohjaukseen, joka tulee sanoista infrared, on se, että vastaanottimen ei tarvitse olla näkyvissä ja toiminta-alue on suurempi. Radio-ohjauksen hyötyihin mutta samalla haittoihin kuuluu se, että ohjauksen käyttämä taajuus on vapaasti käytettävissä kaupallisessa käytössä eikä sitä varten tarvita erillistä lupaa. Tämän johdosta mahdollisena haittana voi olla mahdolliset häiriöt, sillä vapaita taajuuksia käytetään useissa muissakin yhteyksissä. (ST-58.31 2016.)

Ohjauksen etuna on erityisesti saneerauskohteissa se, että järjestelmä ei tarvitse johdotusta. Ohjaukseen on mahdollista yhdistää myös muita ominaisuuksia, kuten vakiovalo anturia tai PIR-liiketunnistimia, joka tarkoittaa passiivista infrapunatunnistinta. Nämä kaikki ohjaustavat on mahdollista integroida yhteen valaisimeen kuten esimerkiksi Enston AVR320 RF. (AVR320 – Uusi langaton Radio-ohjaus 2016.)

## **5 Ulko- ja teollisuusvalaistus**

Tässä luvussa perehdytään tarkemmin ulkovalaistuksen ja teollisuuden ominaisuuspiirteisiin ja standardeihin. Luvussa esitellään myös vaatimuksia ulkovalaisimilta sekä teollisuuden valaisimilta erilaisissa ympäristöissä ja käyttökohteissa.

### **5.1 Ulkotyöalueiden standardin SFS-EN 12464-2 vaatimukset**

Ulkovalaistukselle on oma standardinsa, jossa eritellään yhteensä 15 erilaiselle työpaikalle ja niissä esiintyviin työtehtäviin vaadittavat valaistuksen kriteerit. Vaatimukset on esitetty alueen keskimääräiselle valaistusvoimakkuudelle, tasaisuudelle, häikäisylle ja värintoistolle. Erilaisia alueita ja työtehtäviä tulee soveltaa keskenään ja valita suunniteltavaa kohdetta vastaava standardin työtehtävä. Oheisten työalueiden kriteerien lisäksi standardissa on annettu raja-arvoja erilaisissa ympäristöissä esiintyvälle valosaasteen määrälle. Lisäksi standardissa on suosituksia valon laadulle, kuten riittävälle muodonannolle, joka saadaan aikaiseksi siten, että valoa olisi sekä vaakatasossa että pystytasossa. Myöskin liiallista varjon muodostusta tulisi välttää valaisemalla useammasta suunnasta. Standardi on vahvistettu kansalliseksi standardiksi englanninkielisenä. (SFS-EN 12464-2 2014.)

## 5.2 Materiaalien valinta teollisuudessa

Teollisuudessa materiaalien valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Vaikkakaan esteettiseltä ilmeeltä ei vaadita paljoakaan teollisuudessa, niin kestävyydeltä vaaditaan sitäkin enemmän. Kestävyyttä vaaditaan niin valaisimen kuin valonlähteiden osalta ja siten koko järjestelmältä. Teollisuuden tuotantotilat ja hallit ovat useimmiten korkeita tiloja, jolloin valaisimien huoltaminen on huomattavan paljon työläämpää ja siten myös kalliimpaa kuin sisävalaistuksessa yleisesti.

Teollisuudessa saattaa esiintyä korkeita lämpötiloja tai vastaavasti myös hyvin alhaisia lämpötiloja sisätiloissakin. Teollisessa ympäristössä saattaa esiintyä myöskin erinäisiä kemikaaleja ja kaasuja, jotka asettavat omat vaatimuksensa laitteiden materiaaleille. Elintarviketeollisuudessa tulee myös huomioida valaisimen lasin rikkoutuminen, jolloin valaisimen kotelon tulisi estää lasin ja sirpaleiden päätyminen elintarvikkeisiin. (Elintarviketeollisuus 2018).

### ATEX

Omat lisävaatimuksensa valaistuksen tekniikalle aiheuttavat ATEX-luokitellut tilat. ATEX tulee ranskankielisistä sanoista atmosphères explosibles. ATEX-luokitelluissa tiloissa ei voida käyttää normaaleja valaisimia, vaan joudutaan käyttämään ATEX-sertifioituja tuotteita. ATEX-luokitus tarkoittaa räjähdysvaarallista tilaa, joille on omat riskiarviointiluokitukset siitä, kuinka todennäköinen tai vaarallinen räjähdysmahdollisuus olisi. ATEX-laitteille on oma direktiivinsä, joka on nimeltänsä 2014/34/EU eli Equipment and Protective Systems. Direktiivissä räjähdysvaaralliset tilat ovat luokiteltu vyöhykkeisiin, jotka on esitetty taulukossa 2. (Vaaralliset alueet 2018.)

**Taulukko 2. ATEX-luokitukset (Vaaralliset alueet 2018).**

Alueet	Käytettävä laiteluokka
0, 20	1
1, 21	2
2, 22	3

Alueet 0, 1 ja 2 ovat luokiteltu kaasulle, höyrylle sekä sumulle, kun taas alueet 20, 21 ja 22 ovat luokiteltu pölylle. Kaikkein suurin riski räjähtäville ilmaseoksille on alueilla 0 ja 20, jolloin vaativin laiteluokka on 1.

Usein prosessiteollisuudessa on alueita, joilla esiintyy huomattavaa pölykuormaa tai muuta vastaava. Tämän vuoksi valaisimien tulee olla pölysuojattuja, jolloin IP-luokituksen tulee olla riittävän korkea, vaikka varsinaista kosteutta ei olisikaan. Valaisimien materiaaleina joudutaan useimmiten käyttämään metallirakenteita, jotka eivät ole niin arkoja erilaisille kemikaaleille tai höyryille. Metalleissakin on eroja, ja toisinaan valaisimen rakenteessa on tarpeen käyttää jopa haponkestävää terästä. Valaisimen rungon lisäksi tulee varmistaa, että käytettävä häikäisysuoja on soveltuva kohteeseen, sillä muovilaatujakin on useita erilaisia ja niiden ominaisuudet vaihtelevat lämmönkestävyydestä kemikaalien keston. (Kemialliset laitokset 2018.)

Teollisuudessa on myös alueita, joihin tarvitaan äärimmäisen hyvää lämmönkestoa jopa yli 100 °C lämpötiloja, jolloin ledivalaistus ei tule kyseeseen, vaikka ledien lämmönkeston ominaisuudet ovatkin kehittyneet. Korkeisiin lämpötiloihin soveltuvien valaisimien liitäntälaitteet eivät kuitenkaan välttämättä sovellu asennettavaksi samaan tilaan, vaan ne täytyy asentaa erilleen valaisimesta. (Tehdasvalo tuoteluettelo 2018.)

### 5.3 Materiaalien valinta ulkovalaistuksessa

Luonnollisesti ulkovalaistuksessa käytetään valaisinvalmistajien ulkovalaistukseen tarkoitettuja tuotteita, mutta myös näiden tuotteiden välillä on suuria eroja. Ulkovalaistuksessa voi olla useita erilaisia ympäristöjä kuten sisä- tai teollisuudenvalaistuksessa. Meren läheisyydessä sijaitsevilla alueilla tulee kiinnittää enemmän huomiota valaisimien korroosionkeston kuin sisämaassa sijaitsevilla alueilla. Yhtälailla ulkona voi teollisuuskiinteistöjen yhteydessä esiintyä haitallisia kaasuja tai epäpuhtauksia, joihin on syytä varautua paremmin suojatulla valaisimella. Korroosionkeston lisäksi valaisimien alimpaan sallittuun ympäristön lämpötilaan tulisi myös kiinnittää huomiota valaisimia valittaessa, sillä ilmasto on huomattavan paljon lauhempaa Lounais-Suomessa kuin Koillis-Suomessa. (Talvisään tilastoja 2018).

Sisäkäyttöön soveltuvia suljettuja valaisimia voidaan käyttää myös ulkovalaistuksessa, koska niillä on riittävä kotelointiluokka, vaikka valaisinvalmistajien luetteloissa nämä

esiintyvätkin sisä- tai teollisuusvalaisimissa. Näiden valaisimien hyödyntämisessä ulkovalaistuksessa etenkin suoraan auringonvalon alaisuuteen asennettaessa, tulee varmistua, että tuote on kestävä suoraa auringon valoa, koska näin ei välttämättä aina ole.

Valaisimelta vaaditaan myös eri tilanteissa IK-luokitusta. Julkisilla paikoilla olevilta valaisimilta kuten puistovalaisimilta vaaditaan ilkivallankestoa, sillä ne ovat alttiita tahalliseen ilkivallalle. Myöskin matalalle asennettavat valaisimet kuten muuri- ja pollarivalaisimilta vaaditaan hyvää IK-luokitusta, sillä ne ovat nimenomaisen matalan asennuskorkeuden vuoksi alttiita tahattomille osumille esimerkiksi talvisin lumien aurausten yhteydessä. Pylväs- ja pollarivalaisimien paikkojen hyvällä suunnittelulla voidaan välttää suurimmat ongelmat eikä suurinkaan IK-luokitus pelasta valaisinta lumiauran töytäisyltä. (ST-58.09 2003: 9.)

Ulkovalaisimilta vaaditaan myös esteettisyyttä, sillä ne antavat ensivaikutelmaa kiinteistöstä. Näkyvissä olevien ulkovalaisimien materiaalien ja ulkonäköjen tulisi olla yhdenmukaisia ja toisiinsa sopivia. Lisäksi itse valon tulisi sopia keskenään ja olla sävyltään samanlaista tai tarkoituksen mukaista. Valaisimien materiaaleissa ja valonlähteissä on hyvä käyttää kestäviä, pitkäikäisiä ja helposti huollettavissa olevia valaisimia, sillä pimeät, ränsistyneen näköiset ja värilämpötiloiltaan täysin erilaiset valaisimet antavat huonon ensivaikutelman kiinteistöstä ja mahdollisesta yrityksestä. (30 ST 58.10 2017.)

#### 5.4 Huoltokertoimen määrittely

Huoltokertoimen määrittely on esitetty kansainvälisen valaistuskomitean ohjeistuksessa CIE 154:2003 The Maintenance of Outdoor Lighting Systems. Huoltokertoimeen vaikuttaa useampi asia kuin vain valonlähteen valovirran aleneminen ikääntymisen johdosta. Ympäristöllä on suuri vaikutus huoltokertoimeen, sillä ympäristön saasteet ja lian lähteet eri tiloissa ovat hyvin erilaisia. Nykyisin valaisimiin on myöskin saatavilla vakiovalovirran omaavia liitäntälaitteita, joilla voidaan parantaa huoltokerrointa ja siten vähentää valaistuksen ylityöaikaamista. Ympäristöllä on myös toinenkin vaikuttava asia huoltokertoimeen, nimittäin ympäristön lämpötila. Ledeillä lämpötila vaikuttaa merkittävästi valovirran alenemaan. Kolmas vaikuttava asia huoltokertoimeen on valonlähteiden rikkoutuminen tai kuoleentuminen. (Ledien elinikä 2018.)

Huoltokertoimeen vaikuttaa siis kolme asiaa, jotka ovat valaisimen likaantuminen, valovirran alenema ja valonlähteiden kuoleentuminen. Huoltokertoimen laskemiseen on olemassa yhtälö 5.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \quad (5)$$

MF on Maintenance Factor, eli valaistuksen huoltokerroin

LLMF on Lamp Lumen Maintenance Factor, eli valonlähteen valovirran pysyvyyskerroin

LSF on Lamp Survival Factor, eli valonlähteen eloonjäämiskerroin

LMF on Luminaire Maintenance Factor, eli valaisimen valovirran pysyvyyskerroin

LSF-kerrointa voidaan usein huoltokerrointa määriteltäessä pitää ykkösenä, kun rikkoutuneet valaisimet korjataan välittömästi. Ledivalaisimia käyttäessä tämä on myös perusteltavampaa kuin esimerkiksi loistevalaisimia käyttäessä, joissa on kaksi valonlähdettä. Myös suuritehoisissa valaisimissa erityisesti ulkotiloissa yhdenkin valaisimen rikkoutuminen voi aiheuttaa merkittävän hämärän kohdan alueelle, jonka vuoksi valaisin on heti vaihdettava uuteen. Valaisimen valonvirran pysyvyyskerroin LMF saadaan ympäristön ja toteutettavan valaisimen puhdistusvälin mukaan. Kansainvälinen valaistuskomitea on määritellyt ohjeistuksessa CIE 150:2003 neljälle eri ympäristölle ja huoltovälille soveltuvat pysyvyyskertoimet, jotka on esitetty taulukossa 3. (Floodlight 20 Family 2017: 28–30.)

**Taulukko 3. Ympäristön ja huoltovälin vaikutukset valaisimen valovirran pysyvyyskertoimeen (Floodlight 20 Family 2017).**

Huoltoväli		12 kk	24 kk	36 kk	48 kk
Alue	Asennuskorkeus	LMF	LMF	LMF	LMF
E1/E2	≤ 6 m	0,98	0,96	0,95	0,94
E1/E2	> 7 m	0,98	0,96	0,95	0,94
E3/E4	≤ 6 m	0,94	0,92	0,90	0,89
E3/E4	> 7 m	0,97	0,96	0,95	0,94

E1 on luonnontilassa olevia alueita kuten kansallispuistot

E2 on avoimet alueet ja rakentamattomat alueet

E3 on maalaismainen tai lähiöasutus alueet

E4 on keskusta tai teollisuus alueet.

Valonlähteen pysyvyyskertoimeen LLMF vaikuttaa siis ympäristön lämpötila. Ongelmana tässä on, että yleisesti valmistajat ilmoittavat LLMF-kertoimen oletus ympäristön

lämpötilaan eli 25 °C. Tämän johdosta yleensä päädytään käyttämään kyseistä arvoa, vaikka periaatteessa olisi mahdollista käyttää parempaa arvoa viileämmissä olosuhteissa. Toisinaan korkeisiin lämpötiloihin soveltuvia valaisimiin määritellään LLMF-kertoimet maksimilämpötilalle. Osramin Sitecon Floodlight 20 LED-valaisinperheelle on määritelty erilaiset LLMF-kertoimet eri kaupunkeihin, joilla on määritellyt keskimääräiset lämpötilat vuodessa. Kuvassa 14 on esitetty Sitecon Floodlight 20 LED-valaisinperheen LLMF-kertoimet eri lämpötiloissa ja valaisimilla. (Floodlight 20 Family 2017: 28–30.)

#### LLMF values for the Floodlight 20 LED range

Planning for indoor applications	Service Life	Bxx - value	micro 29 W	mini 56 W	mini 107 W	midl 163 W	midl 238 W
@ $t_a = -5^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.920	0.965	0.940	0.945	0.920
@ $t_a = 0^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.960	0.960	0.930	0.938	0.910
@ $t_a = 5^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.950	0.950	0.920	0.930	0.900
@ $t_a = 10^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.940	0.940	0.910	0.920	0.890
@ $t_a = 15^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.935	0.935	0.900	0.910	0.880
@ $t_a = 20^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.925	0.925	0.888	0.900	0.865
@ $t_a = 25^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.920	0.915	0.875	0.890	0.850
@ $t_a = 30^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.905	0.905	0.863	0.878	0.838
@ $t_a = 35^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.900	0.900	0.850	0.865	0.825
@ $t_a = 40^{\circ}\text{C}$	50,000 h	LxxB50	0.885	0.885	0.830	0.850	0.800

**Kuva 14. OSRAM LLMF-kertoimet valaisimille ja ympäristön lämpötiloille (Floodlight 20 Family 2017).**

Kuvan taulukosta nähdään, että määritellyt LLMF-kertoimet muuttuvat merkittävästi korkeimman ja matalimman lämpötilan välillä. Dokumentissa tosin todetaan, että arvoja voidaan käyttää suunnittelun apuna, mutta niitä ei voida hyödyntää laitteiden takuuasi-oissa. (Floodlight 20 Family: 28–30.)

LLMF-kertoimena voidaan jopa käyttää ykköstä, mikäli valaisinta ohjataan vakiovalovirran omaavalla liitäntälaitteella. Useimmat valaisinvalmistajat eivät kuitenkaan esitä LLMF-kertoimeksi yhtä valaisimen eliniälle, mutta valaisimen mediaanina elinikänä saatetaan esittää jopa L100-arvoja (L100B50) määritellylle ajanjaksolle. (Floodlight 20 Family 2017: 28–30.)



## 6 Projektin toteutus ja laskelmat

Tässä luvussa esitellään insinööriyön projektia, jossa suunniteltiin kohteeseen uusi ulkovalaistus. Työ käsitti asiakkaan nykyisen valaistuksen kartoittamisen, uuden valaistuksen suunnittelun ja elinkaari- ja kustannuslaskelmien laatimisen.

### 6.1 Kohteen yrityksen taustatietoa

Avena Kantvikin historia ulottuu Helsingin Herttoniemeeseen vuoteen 1958, jolloin yhtiö tunnettiin nimellä Öljynpuristamo Oy. Yhtiö muutti nykyiselle paikalleen Kirkkonummelle Kantvikin alueelle vuonna 1993, kun yhtiön maaperän vuokrasopimusta ei jatkettu Herttoniemessä. Kirkkonummelle muuton yhteydessä yhtiön nimeksi vaihtui Mildola Oy. Nykyisin yritys on Avena Nordic Grain Oy:n tytäryhtiö, joka puolestaan on osa Apetit -konsernia. Avena Kantvik -nimi, joka on yhtiön nykyinen nimi, otettiin käyttöön 2017 vuodenvaihteessa. Yhtiön kunnossapidosta vastaa yrityksen oma väki niin sähkön kuin mekaniikankin osalta.

Avena Kantvik valmistaa rypsiöljyä niin kotimaisesta kuin ulkomaisestakin rypsin- tai rapsinsiemenestä. Avena Kantvik toimittaa ruokaöljyä kuluttajille, ammattilaisille sekä teollisuuden tarpeisiin. Yritys vie ruokaöljyä myös ulkomaille kotimaan lisäksi.

### 6.2 Kohteen lähtötilanne

Kiinteistön ulkovalaistus on suuremmaksi osaksi alkuperäinen ja toteutettu tehtaan rakentamisen yhteydessä. Uutta valaistusta on rakennettu tarpeen mukaan tehtaan laajentuessa eri vuosikymmeninä. Viimeisimmät valaistulisäykset ovat tehtaan uuden pakkaamon laajennuksesta vuodelta 2016. Lisäksi uutta julkisivuvalaistusta on lisätty tehdasrakennuksen seinävalaistukseen samanlaisilla seinävalaisimilla kuin pakkaamonlaajennuksessa. Myöskin satunnaisia valaisimia on lisätty erityisesti aluevalaistukseen. Ulkovalaistuksen ohjaus toimii kiinteistöautomaation kautta ja ohjaustiedot tulevat hämäräkytkimiltä sekä muutamilla alueilla paikallisohjauksella joko perinteisin kytkimin tai painonappikytkimin. Pääsääntöisesti kaikki ulkovalaisimet oli tarkoitus korvata uusilla valaisimilla lukuun ottamatta viime vuosina asennettuja ledivalaisimia.

Eri vuosikymmeninä tehtyjen valaisinlisäysten yhteydessä kiinteistölle on asennettu liuta erilaisia valaisimia ja eri värilämpötiloja on sekoitettu keskenään niin aluevalaistuksessa kuin julkisivuvalaistuksessa. Myös tehdasalueen työ- ja kulkutasanteilla sijaitsevista loisteputkivalaisimissa on värilämpötilojen eroavaisuuksia. Silmiin pistävimmät eroavaisuudet valaisimien värilämpötiloissa ovat pakkaamorakennuksen seinävalaistuksessa ja tehdasrakennuksen katolla sijaitsevista valonheittimissä, jotka valaisevat kiinteistön aluetta. Alkuperäisessä pakkaamorakennuksessa on käytetty seinävalaisimia, jonka valonlähteenä on käytetty SpNa-lamppuja, mutta pakkaamon laajennuksen yhteydessä seinävalaisimiksi oli valittu ulkonäöltään samannäköiset valaisimet, mutta nämä valaisimet ovat ledivalaisimia. Vastaavanlainen värilämpötilojen ero on tehdasrakennuksen valonheittimissä, joita on toteutettu sekä alkuperäisillä 400 W:n SpNa-valaisimilla että jälkeempään lisätyillä 400 W:n monimetalli-valaisimilla.

Värilämpötilojen vaihtelevuuden lisäksi valaistuksessa on ongelmia pihapiirin valaistuksen suhteen, joka käsittää tehtaan sisääntulotien, pysäköintipaikka-alueen sekä väylän tehtaan tuotantoalueelle. Näillä alueilla valaistus on toteutettu opaalipallovalaisimilla, joiden valonlähteinä toimivat elohopealamput, minkä vuoksi alueen valaistus oli pakostakin suunniteltava uudelleen tai hankittava korvaavia valonlähteitä.

Tuotantoalueella valaistusratkaisu on alun perin suunniteltu varsin kyseenalaisesti, sillä aluetta valaistiin varaston seiniin asennetuista SpNa-valaisimista, jotka ovat syväsäteilijävalaisimia ja lisäksi valaisimet ovat asennettu noin 45° asteen kulmaan. Kyseinen rakennuksen seinän korkeus on varsin matala, noin viisi metriä. Tämän vuoksi kyseinen valaistus on häikäisevä ja valaistukseltaan laikukas, sillä suuritehoiset valonjohtaan kapeat valaisimet tuottavat suuren valaistusvoimakkuuden valaisimien kohdalle, mutta valaisevat heikosti muuta ympäristöä. Näiden valaisimien tilalle olisi aikanaan ollut parempia vaihtoehtoja kuten katuvalaistuksessa käytettäviä SpNa-valaisimia, jotka ovat huomattavasti soveltuvampia matalille asennuskorkeuksille (Ahponen & Oksaharju 1985).

Tehdasalueen työ- ja kulkutasanteilla sijaitsevat loisputkivalaisimet ovat asennettu joko valaisinvarteen tasanteiden kaiteisiin kiinnitettynä tai säädettävillä kiinnikkeillä portaikkojen, rakennelmien tai kaapelihyllyjen yhteyteen. Tässä valaistusratkaisussa ei ollut parannettavaa, ja se päätettiin pitää sellaisenaan, mutta uudistaa ledivalaisimilla.

Työn lähtötilanteena oli mainittujen ongelmakohtien parantaminen sekä valaistuksen lisääminen muutamille alueille, joista puuttui kunnollinen aluevalaistus tai, joissa valaistustaso oli liian alhainen käyttötarkoitukseen nähden. Lisäksi sisäänuloportin opastekylttiä ei ole valaistu ja sille päätettiin suunnitella valaistus. Myöskään erään yksittäisen öljysäiliön laajennuksen yhteydessä ei oltu suunniteltu valaistusta säiliön työtasanteelle, johon tulisi tässä työssä lisätä valaistus. Suunnittelun lähtökohtana oli sijoittaa valaisimet pääosin nykyisille paikoilleen ja pitää pitkälti nykyinen valaistusvoimakkuuden taso, mutta korjaten kuitenkin ongelmakohdat.

### 6.3 Kohteen mallintaminen DIALux evolla

Kohteesta oli saatavilla tasokas 3D-malli, jossa oli mallinnettu tehdasalueen rakennukset sekä ympäristö. Mallissa oli varsin tarkkoja yksityiskohtia, kuten kierreportaita, kulktasanteita ja prosessitekniikan rakenteita, joita oli tehdasalueella eri prosessialueiden välillä. Mallia päätettiin yrittää käyttää hyväksi valaistussuunnittelussa, sillä DIALux evoon on mahdollista tuoda IFC-tiedostoja; IFC on kansainvälinen standardin ISO 16739 hyväksymä tiedostomuoto. IFC-tiedostolla on mahdollista tuoda ja siirtää 3D-malleja ja tietoja eri suunnitteluohjelmien välillä. (IFC Overview 2018.)

Lähtöaineistoa kerätessä ilmeni kuitenkin, että kyseinen 3D-malli oli saatavilla ainoastaan NWD-muotoisena, joka puolestaan on Navisworks-ohjelmassa toteutettua julkaistua mallia, jota voidaan katsella ilmaisohjelmilla. Navisworks on tietomallien tarkasteluohjelma, joka on Autodeskin tuotteita. (Difference between NWD and NWF file formats 2014.) Tiedostomuodosta ei ole mahdollista muuntaa tiedostoa IFC-tiedostomuotoon Navisworksin omilla työkaluilla. Navisworks-ohjelmaan on kuitenkin saatavilla lisäosa IFC Exporter, jolla tämä saataisiin toteutettua, mutta ongelmaksi muodostuu se, että tiedoston muuntamisessa katoaa tietoja ja rakenteesta tulee rasakas. DIALux evoon tuotavassa IFC-tiedostossa on myös eräitä rajoitteita ja vaatimuksia kuten, että IFC-tiedostossa tulee olla vähintään yksi rakennus, jossa on kerros ja seinämät. Ilman tätä IFC-tiedoston tuominen DIALux evoon epäonnistuu. DIALux evo ei myöskään tue kaikkia objekteja, joita IFC-tiedostossa voi olla. (Requirements for a good IFC import 2017.)

Kokonaisten rakennusten tuominen hyvälaatuisestakin IFC-tiedostosta saattaa tuottaa ongelmia, mikäli malli on rakennettu yksityiskohtaisesti. Arkkitehdin suunnittelemassa

mallissa saattaa olla tarkkoja yksityiskohtia, jotka ovat oleellisia rakenteellisten asioiden kannalta, mutta käytännössä merkityksettömiä valaistussuunnittelun kannalta. Siinä missä tarkkojen mallien katsominen ei aiheuta ongelmia esimerkiksi Navisworks-ohjelmalla, niin se hidastaa kohtuuttomasti valaistussuunnittelun laskemista, sillä jokainen erillinen pinta lasketaan DIALux-ohjelmassa erikseen. (Requirements for a good IFC import 2017.)

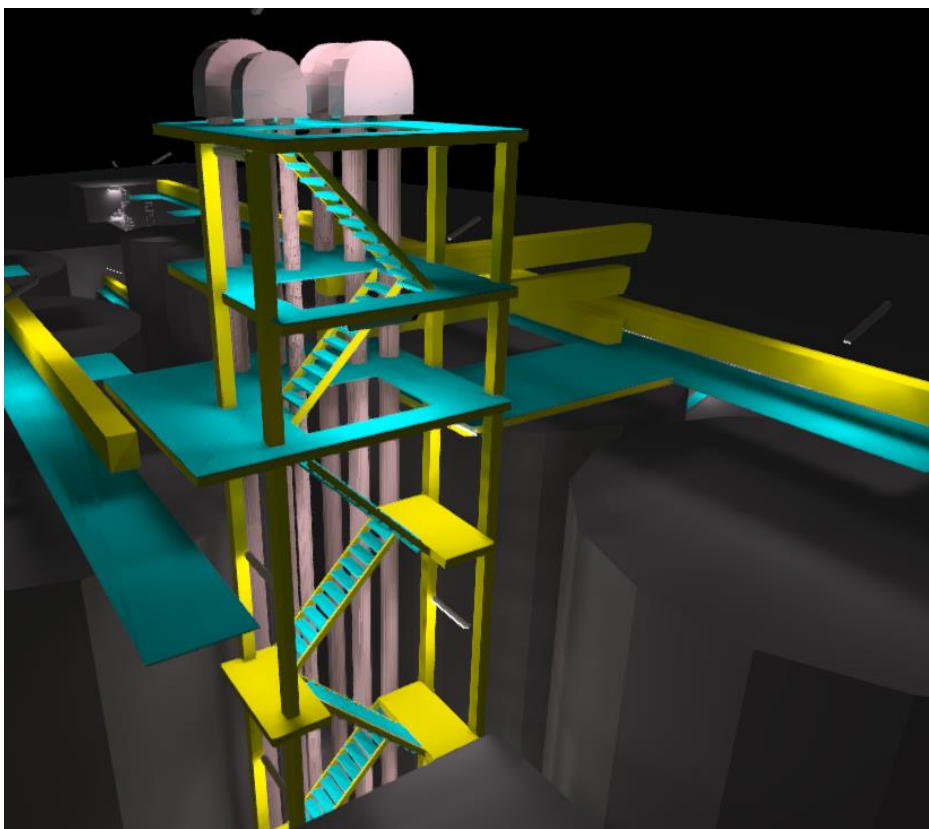
Navisworks -ohjelmasta on mahdollista tuoda tietoa ulos eräissä tiedostomuodoissa kuten FBX-tiedostona, joka on Autodeskin oma tiedostomuoto. FBX-tiedostomuotoa voidaan puolestaan viedä 3D-kuvankäsittelyohjelmiin, kuten SketchUp tai Autodeskin 3DS Max. Näillä ohjelmilla voidaan tuottaa 3D-objekteja, joita puolestaan voidaan tuoda DIALux evo -ohjelmaan objekteina. Kuitenkaan kokonaista aluetta rakennuksineen ei ole kannattavaa tai kokemuksen mukaan mahdollistakaan tuoda 3D-objektina, sillä tiedoston koko tulee liian suureksi.

Lisäksi kohteen 3D-malli oli tuotettu alun perin erilaisella ohjelmalla, josta ei ollut ollut saatavilla lisäosaa, josta olisi saatu tuotettua valaistussuunnittelua varten IFC-tiedostoa, vaikka alkuperäiset tasokuvat olivatkin vielä tallessa. Mallia ja DIALux evon ominaisuuksia tarkasteltaessa tuli ilmi, että alkuperäisessä mallissa olisi rakennuksienkin seinämissä aivan liikaa yksityiskohtia, jotta niitä voitaisiin hyödyntää valaistuksen laskennassa järkevästi.

Tehdaskiinteistön aluetta alettiin lopulta mallintamaan DIALux evon omilla objekteilla kiinteistön asemakaavan pohjalta. Saatavalla olevasta mallista oli kuitenkin hyötyä, sillä siitä saatiin helposti katsottua rakennusten ja varastosäiliöiden korkeudet ja tarkat mitatiedot. Myöskin olemassa olevien valaisimien kuten seinävalaisimien korkeudet saatiin tarkastettua mallin ja kuvien avulla, jolloin nykytilanteen valaisinlaskelmasta saatiin mahdollisimman tarkka.

Alueen mallintamisessa hyödynnettiin joitakin tietoja alkuperäisestä mallista tuomalla ne 3D-objekteina 3DS Max-ohjelman kautta. Esimerkiksi säiliövarastojen välillä kulkevat kulkutasanteet sekä porrastasanne olivat objekteja, jotka olivat ohjelmallisesti kevytrakenteisia ja ne olivat järkevästi tuotavissa DIALux evoon. Lisäksi ne toivat selkeästi visuaalisuutta mallinnukseen ja auttoivat tämän avulla esittämään valmista suunnitelmaa asiakkaalle.

Kuvassa 15 on esitetty kuivasiilojen varastoalueen porrastasanne ja siilojen päälisiä työtasanteita, jotka on tuotu 3D-objektina.



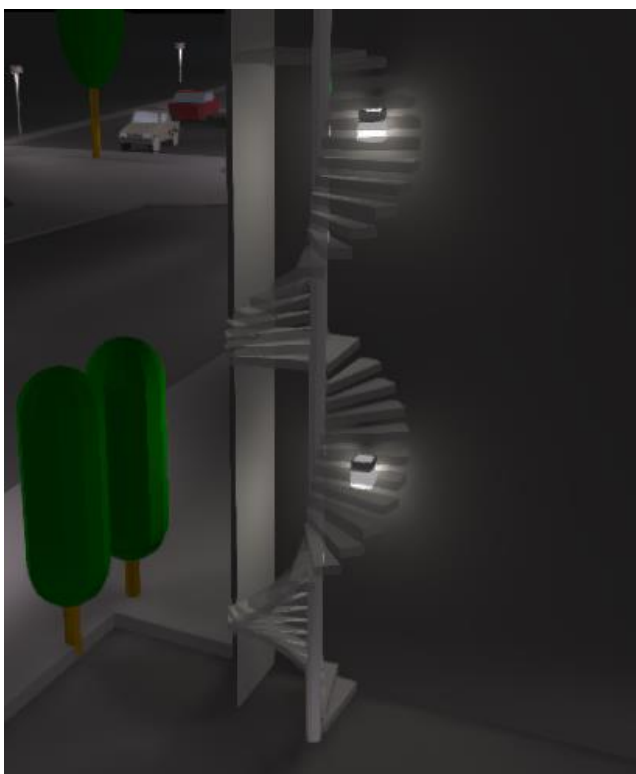
**Kuva 15. Kuivasiiloalueen porrastasanne ja työtasot.**

Nykyisten valaistusten paikat sijoitettiin paikoilleen hyödyntäen alkuperäisiä sähköpiirustuksia, jotka olivat saatavilla paperisina versioina, mutta tehdasalueen laajennusten suunnitelmat olivat saatavilla sähköisinä versioina. Lisäksi valaisimien paikkoja jouduttiin tarkastamaan kohdekäynnillä otetuista kuvista, sillä kaikkia valaisimia ei ollut merkittyinä sähköpiirustuksissa tai ne olivat selkeästi eri kohdassa kuin alun perin oli suunniteltu. Valaisimien korkeustiedoissa käytettiin hyödyksi tehtaan mallia.

DIALux-ohjelmassa on mahdollista valita erilaisille pinnoille, kuten rakennusten seinille, moninaisia heijastussuhteita. Heijastussuhteilla on suuri vaikutus valaistukseen, sillä esimerkiksi tummat pinnat eivät heijasta valoa samalla tavalla kuin vaaleat pinnat, minkä vuoksi tarvitaan enemmän valoa aikaansaamaan sama valaistusvoimakkuus. Valaistuksen mallinnuksessa päätettiin käyttää objektien heijastussuhteena melko alhaisia arvoja (10–20 %), sillä useat pinnat olivat tummia tai varsin likaisia. Tällä tavoin saatiin myöskin valaistuksen voimakkuus riittäväksi niin sanotussa pahimmassa mahdollises-

sa tilanteessa. Lisäksi, kun uuden valaistuksen suunnittelua oli tarkoitus verrata vanhaan valaistukseen, ei heijastussuhteiden tarkalla määrittelyllä ollut kovin suurta merkitystä.

Eräiden erityisten pintojen mallintamisessa käytettiin hyödyksi erilaisia heijastussuhteita. Tällaisia kohteita olivat esimerkiksi yhden siilon valaistuksen simulointi, tehdasrakennuksen sisäänkäynti ja kierreportaiden simulointi. Kierreportaiden ja niihin liittyvien ritilätasojen simulointiin arvioitiin hieman valoa läpäisevää ja heijastavaa materiaalia, jotta nähtäisiin valottuvatko portaat ja askelmat kunnolla.



**Kuva 16. Toimistorakennuksen kierreportaiden mallinnus.**

Kuvassa 16 on esitetty kierreportaiden mallintaminen.

Visuaalisuuden ja havainnollistamisen vuoksi suunnitelmiin mallinnettiin myös pihalueella olevia puita ja pensaita, liikennemerkkejä ja opastekyltit tietoineen. Puiden mallintaminen havainnollisti niiden aiheuttaman varjostuksen pihavalaistuksessa, sillä osa puista oli varsin korkeita ja sijaitsivat pysäköintialueella aivan pylväsvalaisimien vieressä. Opastekyltin mallintamisella voitiin arvioida paremmin, kuinka tekstit ja opas-

teet näkyvät valaistuksessa ja millä valaistuksen voimakkuudella ja tasaisuudella päästään hyvään lopputulokseen.

DIALux evoon on mahdollista määritellä erinäisiä valaistusalueita, joille luonnollisesti voidaan määritellä tilojen mittatiedot. Tämä siis ei tarkoita fyysistä tilaa, vaan valaistuslaskennan kannalta oleellisia tiloja, kuten työalueita. Tiloihin voidaan luoda käyttötaso, jonka korkeus voidaan määritellä, ja lisäksi käyttötasolle voidaan luoda määritellyn levyiset reuna-alueet. Näistä alueista voidaan tuottaa tulokset dokumentaatiota varten ja näistä alueista näkyy keskimääräinen valaistusvoimakkuus sekä valaistuksen tasaisuus. DIALux evo-ohjelmaan on sisäänrakennettu sisä- ja ulkovalaistusstandardit (SFS-EN 12464-1 ja SFS-EN 12464-2), joista voidaan valita valaistusalueilla sopivat työalueet ja ohjelma ilmoittaa, saavuttavatko suunnitelmat kyseisen tehtävän vaatimukset. Tämä on varsin hyödyllinen ominaisuus etenkin ulkovalaistuksessa, sillä standardi on suomennettu ohjelmaan, kun standardi muuten on saatavilla vain englannin kielisessä.

Valaistusalueita voidaan myös hyödyntää huoltokertoimen laadinnassa. Kullekin valaistusalueelle voidaan määritellä erilliset huoltokertoimet, mikä voi tulla kyseeseen, jos alueilla on käytetty huomattavan erilaisia valaisimia tai ympäristön likaisuusaste on täysin erilainen, joka voisi tulla kyseeseen isomman tehdaskiinteistön yhteydessä esimerkiksi laboratorion ja tuotantotilojen välillä.

DIALux evolla saadaan lisäksi tarkasteltua erityistilanteita esimerkiksi yhden pisteen valaistusvoimakkuuksia tai häikäisynarvoja. Lisäksi erinäisiä muita laskenta-arvoja, kuten, puolipallovalaistusvoimakkuuksia tai pinnanluminansseja, voidaan laskea yksittäisiltä pisteiltä tai alueilta.

Lisäksi DIALux evolla on mahdollista mallintaa valaistuksen energiankulutusta ja sähköenergiaan meneviä kustannuksia. Valaisimien käyttöajat voidaan itse määritellä alueittain tai vain yleisesti koskemaan kaikkia valaisimia, joita ei ole erikseen määritelty. Lisäksi valaistusalueille voidaan lisätä antureita ja myöskin päivänvalon hyödyntäminen laskelmia tehdessä on mahdollista DIALux evolla.

Käytännössä ei olisi todennäköisesti useastikaan tarpeen tai edes kannattavaakaan toteuttaa kiinteistön mallinnusta yhtä laajassa mittakaavassa, sillä työaika on käytännössä hyvin rajattu. Erityisesti valaistussuunnittelun kannalta tässä työssä mallinnetut

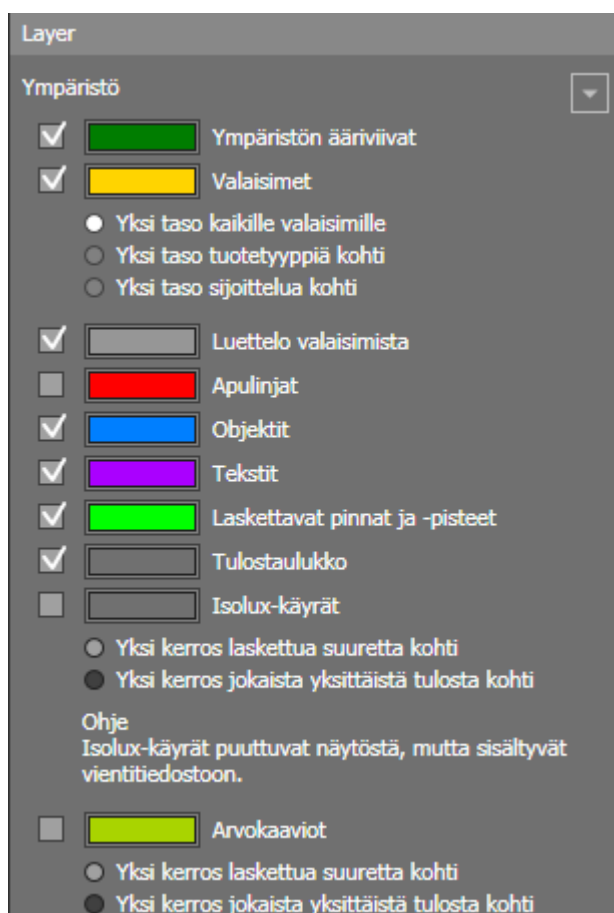
kulkutasanteiden valaisimet olisi tarpeetonta mallintaa jokaiselle alueelle, sillä valaistus näissä toistaa itseään. Lisäksi jokaisen objektin, valaisimen ja muun vastaavan lisääminen ohjelmaan hidastaa valaistuksen laskentaa ja siten työskentelyä.

Valaisimia on mahdollista tuoda CAD-ohjelmasta ja DIALux evoon. Tämän vuoksi on mahdollista tuoda kaikki valaisimet DIALux evoon ylimääräistä aikaa käyttämättä, mikäli suunnittelun pohjana olisi DIALux evosta olemassa valmis malli tai sopivanlainen IFC-tiedosto. Hyvin mallinnettu valaistussuunnitelma on selkeä ja havainnollistava, jolla on helppo saada asiakas vakuuttuneeksi ja selvittää, mitä valaistuksella haetaan.

DIALux evon erityisen huono puoli on se, että ohjelmasta ei ole mahdollista tuoda valaisimia CAD-ohjelmaan saman lailla kuin ohjelman edellisellä tuoteversiolla 4.13. Tämä on varsin huono puoli, mikäli suunnittelua haluttaisiin toteuttaa nimenomaan DIALux evon puolella esimerkiksi hyödyntäen IFC-malleja tai valaisimien automaattisijoituksia valaistusalueille määriteltujen luksitasojen avulla.

DIALux evosta voidaan tuoda tietoja ainoastaan kuvassa 17 esitettyjä tietoja, jotka voidaan tuoda DWG-, DXF- tai DXB-tiedostoina tai olemassa olevaan vastaavassa tiedostomuodossa olevaan kuvaan.





Kuva 17. DIALux evosta tuotavat tiedot.

Kuvan 17 tiedot tulevat suunnittelutiedostoon viivapiirtona DIALux evon valaisimen 3D-mallin muotoisena, jolloin tuotteita ei voida kunnolla käyttää suoraan sähkösuunnitteluun. Viivapiirtojen mukaan voidaan tosin piirtää puhtaaksi CAD-ohjelman objekteilla, mutta tämä aiheuttaa turhaa lisätyötä. Tuotaessa tietoja DIALux evosta tulee kiinnittää huomiota, missä näkymässä DIALux evo on, sillä 2D-näkymässä ohjelma tuo tiedot ainoastaan 2D-viivapiirtona, kun 3D-näkymässä ohjelma tuo tiedot 3D-piirtona, mutta kuitenkin ilman valaisimien ja objektien tietoja tai määriteltyjä materiaaleja.

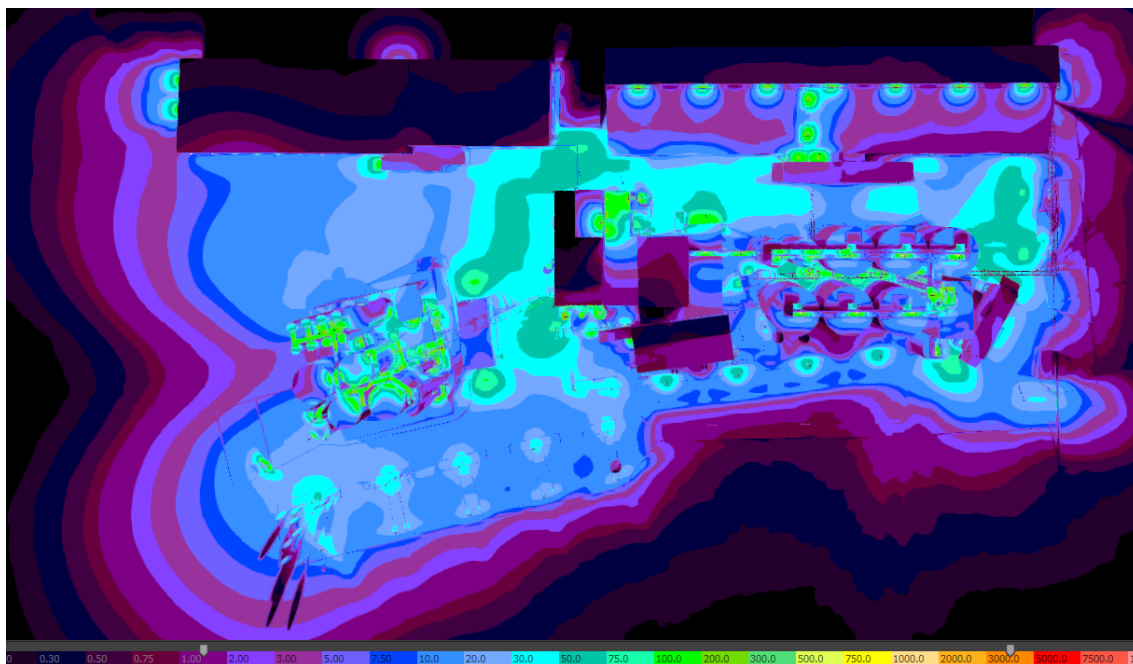
#### 6.4 Kohteen valaistussuunnittelu

Suunniteltava tehdasalue on varsin laaja kokonaisuus ja se sisältää erilaisia valaistus-alueita sekä toiminnallisia kokonaisuuksia. Tämän vuoksi työtä varten tuli tutustua useisiin erityyppisiin valaisimiin ja vaadittaviin valaistuksenvoimakkuuden tasoihin. Vaikka suunnittelun lähtökohtana olikin suunnitella vastaavan tasoinen valaistus, oli siltikin tarpeen tutustua ulkovalaistusstandardin arvoihin, jos selkeästi huomataan, että

löytyy alueita, joissa valaistuksen voimakkuutta tulisi selkeästi uudistaa. Lisäksi standardin arvoista oli hyvä tiedostaa valaistuksen tasaisuuden määritellyt arvot, sillä nykyisellä valaistuksella valaistuksen tasaisuus ei ollut lähellekään hyvää paikoissa, joissa oli matalalle asennettuja SpNa-valaisimia.

Suunnittelun alussa mietittiin, saavutettaisiinko valaistuksen ohjauksen uusimisella riittävästi säästöjä energiankulutuksessa ja kuinka järkevästi ohjausta voitaisiin toteuttaa. Prosessitehdas toimii käytännössä koko vuoden vuorokauden ympäri, jonka vuoksi valaistusta ei olisi järkevää sammuttaa kokonaan. Valaistus toimii myös omaisuuden turvana ja valvontakamerat vaativat jonkinlaista valaistusta toimiakseen riittävällä tarkkuudella. Lisäksi pimeään aikaan joudutaan tekemään valvontakierroksia tehdasalueella niin sisällä kuin ulkonakin, minkä vuoksi lopulta todettiin, ettei valaistusta ole järkevää ohjata edes himmentämällä. Hyvässä valaistuksessa mahdolliset ongelmat ulkoalueella, kuten vuototapaukset, nähdään jo kaukaa, mikä siis tarkoittaa, että valaistus ei ole tehdasalueella vain liikkumista varten, vaan myös yleistä tarkkailua varten. Lisäksikään ylimääräisellä ohjauksella saavutettavia säästöjä ei saataisi takaisin maksettua riittävällä aikavälillä. Tästä on liitteessä 1 vertailevaa elinkaarilaskelmaa.

Valaistussuunnittelun mallinnuksesta ja laskennasta on esitetty näkymiä eri puolelta tehdasaluetta, jotka ovat liitteissä 4 ja 5. Liitteessä 4 on muutama DIALux evon -mallinnuskuva nykyisestä valaistuksesta. Liitteessä 5 on puolestaan uuden valaistuksen mallinnuksen kuvat ja valaisimet DIALux evosta suoraan saatavassa valaisinluettelossa. Kuvassa 18 on esitetty suunniteltu tehdasalueen yleiskuva ylhäältäpäin väräverikuvana, josta saadaan hyvä yleiskäsitys tehdasalueen valaistuksesta ja alueesta.



Kuva 18. Tehtaan yleiskuva väärävärinä.

Tehdasalueen nykyiset pylväsvalaisimet haluttiin pitää koristeellisempina julkisivua edustavina valaisimina ja lisäksi näiden valaisimien tuli kuitenkin sointua vanhempaan rakennusarkkitehtuurin ja seinien julkisivuissa käytettyihin Enston Avr8-valaisimiin, jotka on asennettu viime vuosina. Tämän vuoksi valittavan valaisimen tuli olla muotoilultaan ajaton. Tämän lisäksi valaistusvoimakkuuden tuli olla nykyistä elohopeavalaisimilla tuotettua valaistusta tehokkaampi erityisesti lastausalueelle kulkevalla tieosuudella, minkä vuoksi oli syytä etsiä valaisimia, joille oli mahdollista valita optiikoiltaan suuntaavia vaihtoehtoja. Nämä kriteerit pienensivät mahdollisten valittavien valaisimien määrää.

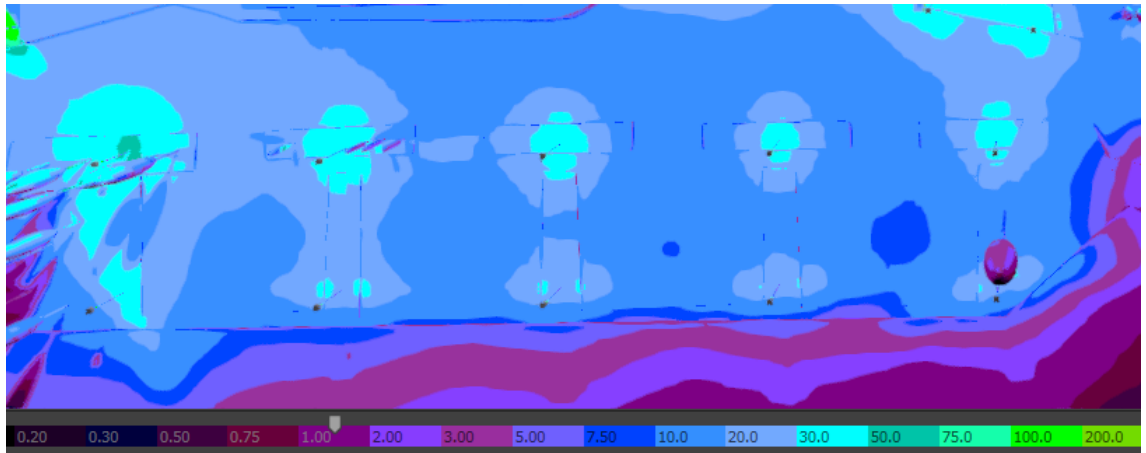
Lopulta asiakkaan kanssa päätettiin valita Philipsin Townguide-valaisinperhe, jota oli saatavilla kuudella eri kupuvaihtoehdolla ja useilla erilaisilla teholuokituksilla ja linssiop- tiikoilla. Kuvassa 19 on esitetty Philipsin Townguide-valaisin.



**Kuva 19. Philips Townguide BPD102 (Sähkönumerot.fi 2018).**

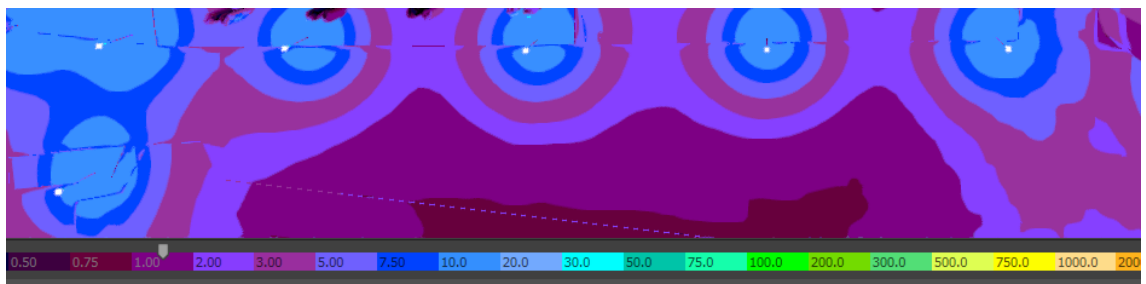
Ulkovalaistusstandardin SFS-EN 12464-2 mukaan pysäköintipaikoilla ja tiealueilla, joilla on hitaasti kulkevaa liikennettä (enintään 10 km/h) valaistusvoimakkuus tulisi keskimäärin olla kymmenen luksia. Nykyisillä elohopeavalaisimilla toteutetussa valaistuksessa kyseisillä alueilla saavutettiin noin viiden luksin valaistusvoimakkuus.

Lastausalueelle kulkevalle tieosuudelle valittiin Townguide-optiikoista leveäkeilainen (DW) noin 7 000 luumenia tuottava valaisin, jolla saavutetaan neljän metrin asennuskorkeudella ja noin kahdenkymmenen metrin pylväsvälillä tasainen kymmenen luksin valaistusvoimakkuus seitsemän metrin tieleveydelle. Pysäköintipaikalle tehdasalueen tontin rajalle valittiin myöskin suuntaava optiikka (DRW), jottei valoa karkaisi tarpeettomasti tontin rajojen ulkopuolelle, sillä kyseiset pylväät olivat noin neljän metrin päässä alueen raja-aidasta. Valaisimen tuottama valovirta on noin 6 000 luumenia. Pysäköintialueen toiselle puolelle valittiin puolestaan symmetrisellä optiikalla (DS) oleva noin 8 000 luumenia tuottava valaisin, koska valaisimen on tarkoitus valaista sekä pysäköintipaikan aluetta että tehdasalueen sisään tuloväylää.



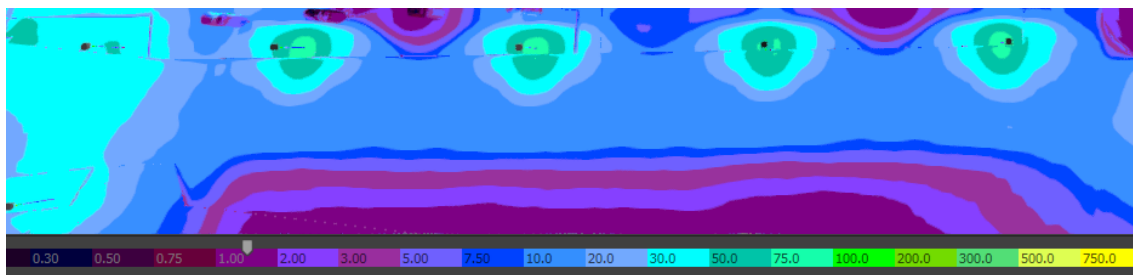
**Kuva 20. Pysäköintialueen valaistus.**

Kuvassa 20 on esitetty pysäköintialueen valaistusta, josta nähdään hyvin kuinka suuntaavalla optiikalla saadaan vähennettyä valon suuntautumista tontin rajojen ulkopuolelle, kun kymmenen luksin valaistusvoimakkuudentaso kulkee aivan pysäköintipaikan rajalla. Kuvassa 21 on puolestaan havainnollistettu nykytilanteen valaistusvoimakkuus väärävärivärien avulla lastausalueelle kulkevalla tieosuudella.



**Kuva 21. Lastausalueelle johtava tieosuus nykyisellä valaistuksella.**

Vastaavasti kuvassa 22 on havainnollistettu uuden valaistuksen suunnitelmat väärävärivärien avulla, josta nähdään hyvin, kuinka Townguide-valaisimen DW-optiikalla saavutetaan tasainen ja riittävän hyvä valaistusvoimakkuus lastausalueelle johtavalle tieosuudelle.

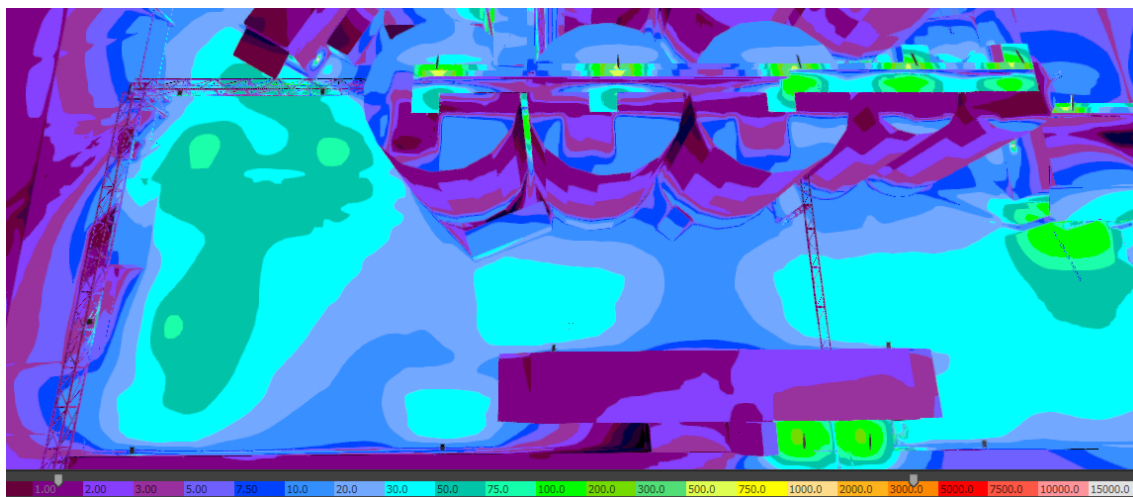


Kuva 22. Lastausalueelle johtava tieosuus uudella valaistuksella.

Puristeveraston nykyisten 400 W:n SpNa-seinävalaisimien tilalle suunniteltiin leveällä keilalla olevat katuvalaisimet. Valaisin tyypiksi valikoitui Glamoxin O52-valaisinperhe, josta on saatavilla neljää eri teholuokkaa ja valmistajalta on suoraan saatavilla seinä-asennuskiinnikkeet. Optiikkana valaisimessa toimii leveä ja epäsymmetrinen valonjako (WBA). Valonjako eteenpäin valaisimessa oli painotettu  $45^{\circ}$ – $15^{\circ}$  asteen välille, joka sopii suunniteltavaan alueeseen varsin hyvin, kun valaisimia kallistetaan vielä kymmenen astetta.

Puristeveraston alueen valaistuksen toteutusperiaate muuttui, sillä enää kyseisillä SpNa-seinävalaisimilla ei ollut tarkoitus valaista koko aluetta, vaan valaisimien on tarkoitus valaista rakennuksen seinänviertä. Puristeen lastausalueen seinävalaisimet suunniteltiin alkuperäistä valaistusta korkeammalle kahdeksaan metriin, jolloin  $45^{\circ}$  asteen valokeilalla oleva valaisin valaisee saman kahdeksan metriä vaakatasossa eteenpäin. Puristeen lastausrakennuksen kohdalla tiealue on hieman kapeampi, noin kymmenen metriä, jolloin kyseisellä kohdalla seinävalaisimet riittivät valaisemaan koko alueen. Kuvassa 23 on esitetty puristeveraston alueen valaistusvoimakkuuden tasoja värvärikuvan avulla.

O52-seinävalaisimien tehoina käytettiin noin 5 000 luumenia tuottavaa valaisinta, paitsi puristelastausrakennuksen seinävalaisimissa, joissa käytettiin tehokkaampaa noin 15 000 luumenia tuottavaa valaisinta. Lisäksi samaa 15 000 luumenia tuottavaa mallia käytettiin siemenen lastausrakennuksen seinävalaisimina, jossa vaaditaan myöskin tehokkaampaa valaistusta, sillä alueella kulkee paljon jalankulkijoita tupakkakopin sijainnin vuoksi, joka sijaitsee aivan tehdasalueen eteläpäädyssä. Kuvan 23 vasemmassa yläkulmassa näkyy muuta aluetta korkeammat valaistusvoimakkuudet jalankuluväylän vuoksi.



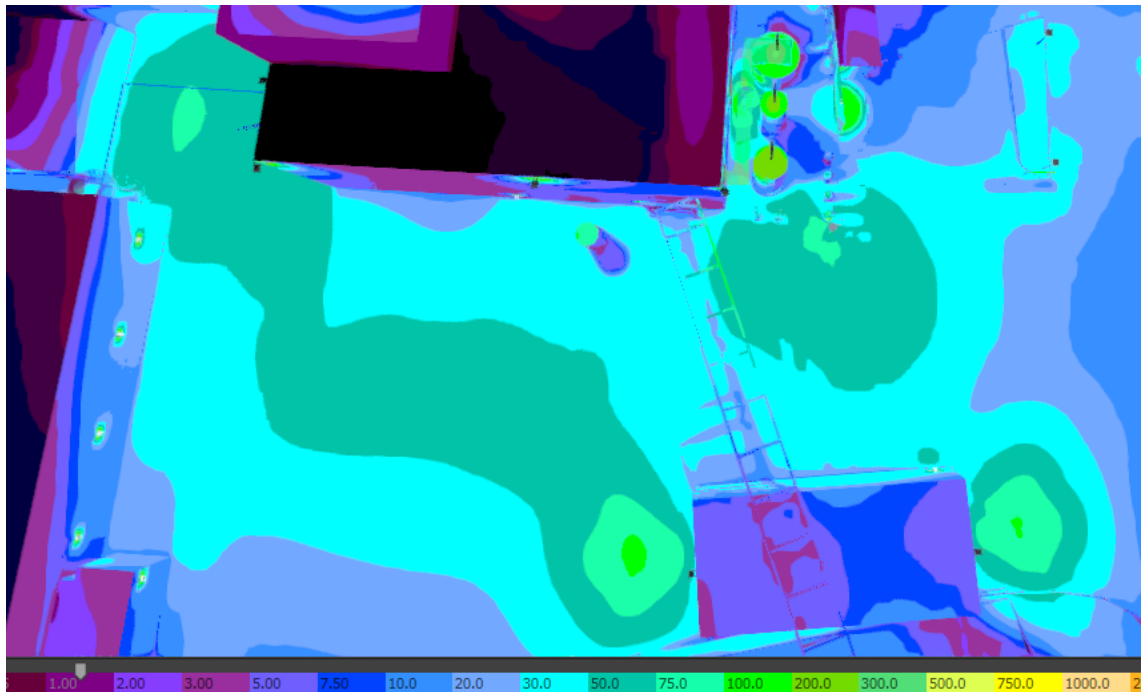
Kuva 23. Puristeveraston alue.

Tehtaan yleinen aluevalaistus on suurimmaksi osaksi toteutettu valonheittimillä, jotka sijaitsevat itse tehdasrakennuksen katolla, lukuun ottamatta puristeveraston aluetta, jossa aluevalaistus on toteutettu SpNa-seinävalaisimilla. Lisäksi tehtaan sisääntuloporttia valaistiin viereisen öljysäiliön päältä noin 25 metristä. Tehdasrakennuksen korkeus oli noin 15 metriä. Tehtaan katolla sijaitsevat valonheittimet on toteutettu joko samaisella SpNa-valaisimella kuin puristeveraston seinävalaisimissa on käytetty tai vaihtoehtoisesti 400 watin monimetallivalaisimella. SpNa-valaisinta on käytetty myöskin siemenvastanottorakennuksen oviaukkojen valaisussa.

Kaikki mainitut aluevalaistuksen valonheittimet korvattiin ledivalaisimilla ja valmistajaksi valikoitui suunnitelmiin Glamox, jolta löytyy valonheittimiä 4 000–50 000 luumenin välillä epäsymmetrisellä valonjaolla. Nimenomaan valonjaon perusteella Glamox valikoitui valmistajista, sillä heiltä löytyy valonjakokeilat, jotka ovat epäsymmetrisiä ja varsin kapeita, mikä oli erityisen tärkeää tehtaan katolta valaistaessa. Lisäksi heittimet valaisevat taaksepäin korkeintaan 15°:n kulmassa ja tehokkaimmilla O91-mallin valaisimilla alle 15°:n kulman ja leveyssuunnassa keilan pääpaino on 15°:n astetta. Kuvassa 3 näkyy erään O91-valaisimen valonjako.

Lastaus- ja vastaanottorakennusten sisään- ja ulostulo-ovien valaistus suunniteltiin toteutettavaksi Mach-mallin valonheittimillä, joita löytyy 4 000–14 000 luumenin välillä. Näillä valaisimilla saatiin tuotettua ovien eteen noin 70 neliömetrin kokoiselle alueelle noin 50 luksin valaistusvoimakkuus, joka nähdään väärävärivärien avulla havainnollis-

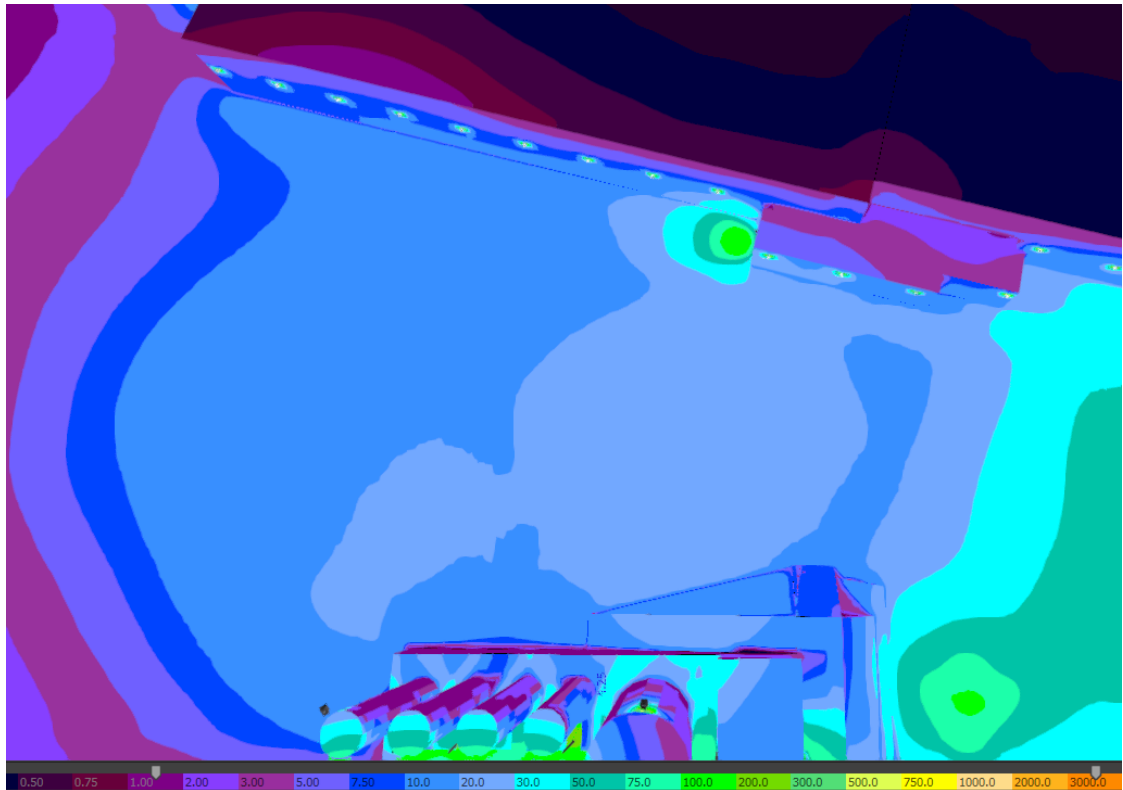
tettuna kuvan 24 oikeasta alareunasta. Öljynlastausrakennuksen ovien luona ei ollut ennestään valaistusta, joten tämä tuli lisäyksenä suunnitelmiin.



Kuva 24. Öljynlastausrakennuksen alue.

Aluevalaistuksessa valaisinmäärät ja valaistustasot pysyivät suunnitelmissa pitkälti samanlaisina, sillä 400 W SpNa- ja monimetallivalaisimet korvattiin samantehoisilla ledivalaisimilla. Valaistuksen tasaisuus parani ja häikäisy väheni huomattavasti, kun kapeakeilaiset valonheittimet korvattiin epäsymmetrisen valonjaon omaavilla O91-valaisimilla. Lisäksi pakkaamon edustan aluetta tai kulkureittiä öljysiilojen varastoalueelle ei ole nykyisellään valaistu ollenkaan. Tämän vuoksi kahden öljysiilon päälle suunniteltiin O91-valaisimet, joilla saatiin tuotettua noin 2600 neliömetrin kokoiselle alueelle noin 20 luksin valaistusvoimakkuus, joka on standardin SFS-EN 12464-2 mukaan riittävä valaistusvoimakkuus säännöllisen ajoneuvoliikenteen alueelle, kun nopeus on enintään 40 km/h. Kuvassa 25 on havainnollistettu alueen valaistusvoimakkuuden tasot väärävärin avulla. Kuvasta 25 huomataan myöskin, että valaistus heikkenee pakkaamo rakennuksen nurkkaa kohden jopa turhan alhaiseksi, mutta kiinteistön alueella on käynnissä tällä hetkellä kyseisen alueen uudistaminen, jonka vuoksi kyseiselle alueelle ei ollut tässä työssä järkevää suunnitella enempää valaistusta.



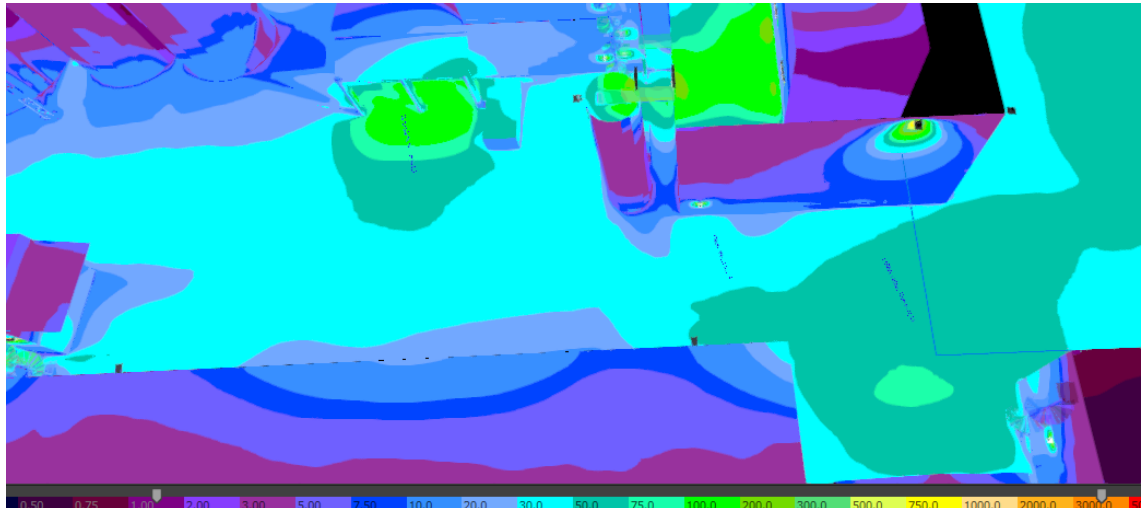


**Kuva 25. Pakkaamon edustan valaistus.**

Aluevalaistuksen valonheittimet suunnattiin siten, että alueella oleville kulkureiteille saataisiin noin 50 luksin valaistusvoimakkuus, joka on standardin SFS-EN 12464-2 mukaan tarvittava valaistusvoimakkuus jalankulkuväylillä, kun ne ovat kulkevat yleisen liikenteen alueella. Mikäli jalankulkuväylä olisi ainoastaan jalankulkijoille, riittäisi valaistusvoimakkuuden tasoksi viisi luksia. Samainen 50 luksia valaistusvoimakkuudeksi on määriteltä myöskin ajoneuvojen kääntämispaikoille sekä lastaus- ja purkupaikoille, jonka vuoksi lastaus- ja vastaanottorakennusten sisään- ja ulostulo-ovien eteen tavoiteltiin tuota 50 luksin valaistusvoimakkuuden tasoa.

Kuvassa 26 on esitetty tehtaan verstaan alueen valaistusvoimakkuuksia. Verstaan katoksen alle suunniteltiin työvalaistukseksi sadan luksin valaistusvoimakkuus, joka näkyy väärävärikuvassa vihreällä. Sadan luksin valaistusvoimakkuus on standardin SFS-EN 12464-2 mukaan tarvittava valaistus työskentelyalueella, jossa tarvitsee käyttää työkaluja tai lukea tekstejä. Katoksen valaistus suunniteltiin kahdella Mach 2 -valaisimella, jotka ovat sijoitettu noin kuuden metrin korkeudelle verstaan lipan kattoon, saadaan tuo kyseinen 100 luksin valaistusvoimakkuus noin 60 neliömetrin kokoiselle alueelle.

Verstaan alueelle suunniteltiin yleisesti kohtalaisen voimakas valaistus aktiivisen liikenteen ja tavaroiden lastauksen vuoksi. Verstaan alueen yleisvalaistus on toteutettu tehtaan vieressä olevan siilon päältä, jolla alueelle saadaan tasainen valaistus.



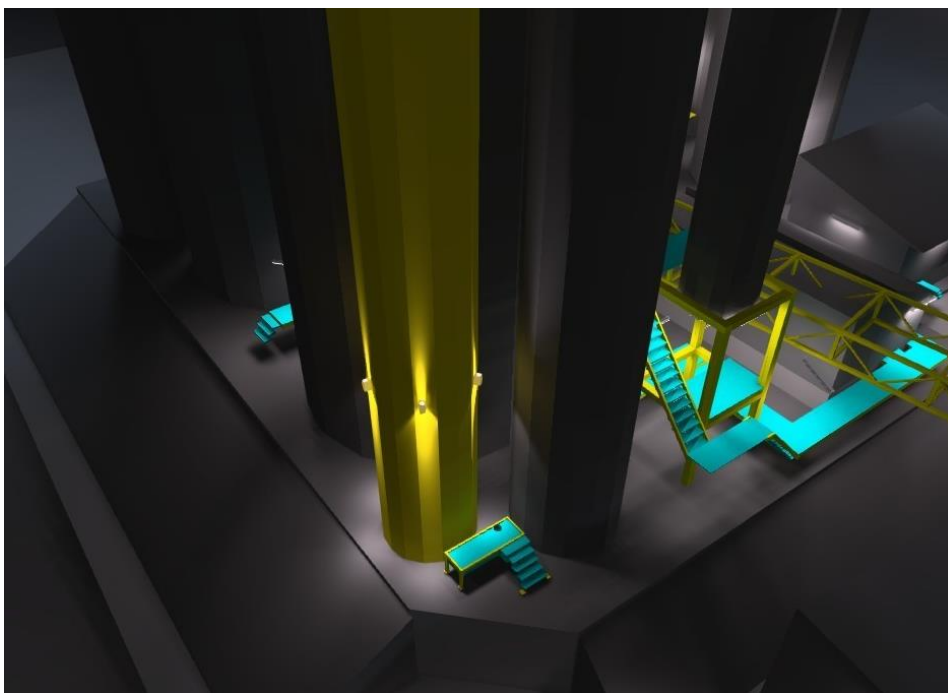
Kuva 26. Tehtaan verstaan alue.

Varastoalueiden siilojen ja rakennusten työ- ja kulkutasanteilla on keskimäärin noin 75 luksin valaistusvoimakkuus riippuen hieman alueesta. Valaistus on toteutettu siten, että jokaisen siilon edustalla on yksi valaisin, joka tuottaa kyseiselle työalueelle noin 200 luksin valaistusvoimakkuuden. Kulkureiteillä on hieman vähemmän, mutta keskimäärin nimenomaan tuo 75 luksia riippuen siilojen kokoluokasta. Paikoin kulkureittejäkin on valaistu työtasanteilla, sillä pelkällä siilon edustan työalueen valaisulla ei saataisi riittävän hyvää valaistusta kulkemiseen, koska siilojen halkaisija itsessään voi olla lähes yhdeksän metriä.

Työ- ja kulkutasanteiden valaistuksen todettiin olevan riittävän hyvä, jonka vuoksi kyseiset valaisimet suunniteltiin uusittavan nykyisille paikoilleen vastaavanlaisilla valaisimilla, mutta ledivalaisimilla. Nykyinen valaisin on hyväksi ja kestäväksi todettu ja samaa valaisinta oli vastikään uusittu myös tehtaan sisävalaistukseen tuotannon puolella. Tämän vuoksi valaisimeksi valikoitui käytännössä suoraan Glamoxin MIR LED-valaisinperhe. Valaisinta on saatavilla sekä ledivalonlähteellä että loisteputkilla, ja molemmat valonlähteet käyttävät täsmälleen samaa runkokokoa. Led versiosta on saata-

villa valovirraltaan 2 500–11 000 luumenin tehoisia valaisimia. Runkokoko muuttuu suhteessa valovirtaan.

Öljysiilojen alueella on viimeisen kerran tehty laajennuksia 2012, jolloin alueelle on tehty yksi varastosiilo lisää, mutta kyseiselle siilolle ei ollut suunniteltu valaistusta. Siilon kummallakin puolella on toimilaitteita, jonka vuoksi siilon luona olisi syytä olla valaistusta. Tähän haluttiin esittää muusta työtasannevalaistuksesta poikkeavaa valaistustapaa, jolla tuotaisiin arkkitehtuurisempaa valaistusta kiinteistölle, mutta samalla valaistaisiin työskentelyn kannalta oleellinen. Valaisimeksi valikoitui Began Wall washer -valaisin, jossa on sekä ylä- että alavalon ja valaisimen valovirta on noin 2000 luumenia. Ylävalo on kapeammalla keilauksella ja alavalon leveämmällä keilauksella, jolloin neljällä valaisimella saadaan siilon työskentelyalueelle noin sadan luksin valaistusvoimakkuus ja tämän lisäksi korostettua varastosiiloa, joka on tehtaan julkisivussa varsin keskeisellä paikalla.

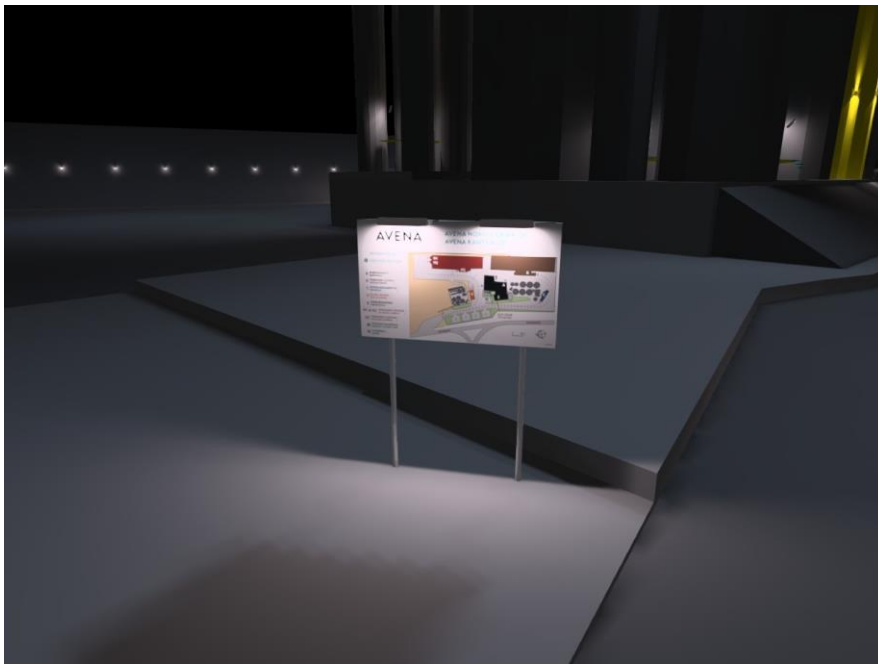


**Kuva 27. Siilon arkkitehtuurinen valaisu.**

Kuvassa 27 on esitetty DIALux-mallinnuksen kuva oheisesta siilosta.

Tehtaan sisäänkäynnin luona portin ulkopuolella on opastekyltti, jota ei tällä hetkellä ole valaistu. Opastekyltin alapuolella on tehtaan postilaatikko ja kyltin vieressä on myös jalankulkijoille tarkoitettu portti. Tämän vuoksi oli perusteltua lisätä valaistus opastekyl-

tille. Aikanaan aidan luona on ollut valomainos, joka sittemmin on tosin poistunut ja aitalinjakin hieman muuttunut alkuperäisestä. Opastekyltin valaisimeksi valittiin Began Floodlight-valaisin, jonka valovirta on noin 1 400 luumenia. Valaisimia tarvittiin kaksi kappaletta tuottamaan tasainen valaistus kyltille. Valaisimen malli on huomattavan paljon tyylitellympi kuin useammat mainosvalovalaisimet, joita näkee teiden varsilla. Valaisin on myös hyvä olla ilman valaisinvartta, sillä opastekyltti on suhteellisen matalalla, jolloin valaisinvarsi olisi todennäköisesti ollut opastekyltin näkökentän edessä, kun liikutaan raskaalla kalustolla. Lisäksi valonsäteet olisivat samaisesta syystä saattaneet heijastua kuljettajaan kyltistä kuljettajaan.



**Kuva 28. Opastekyltin mallintaminen.**

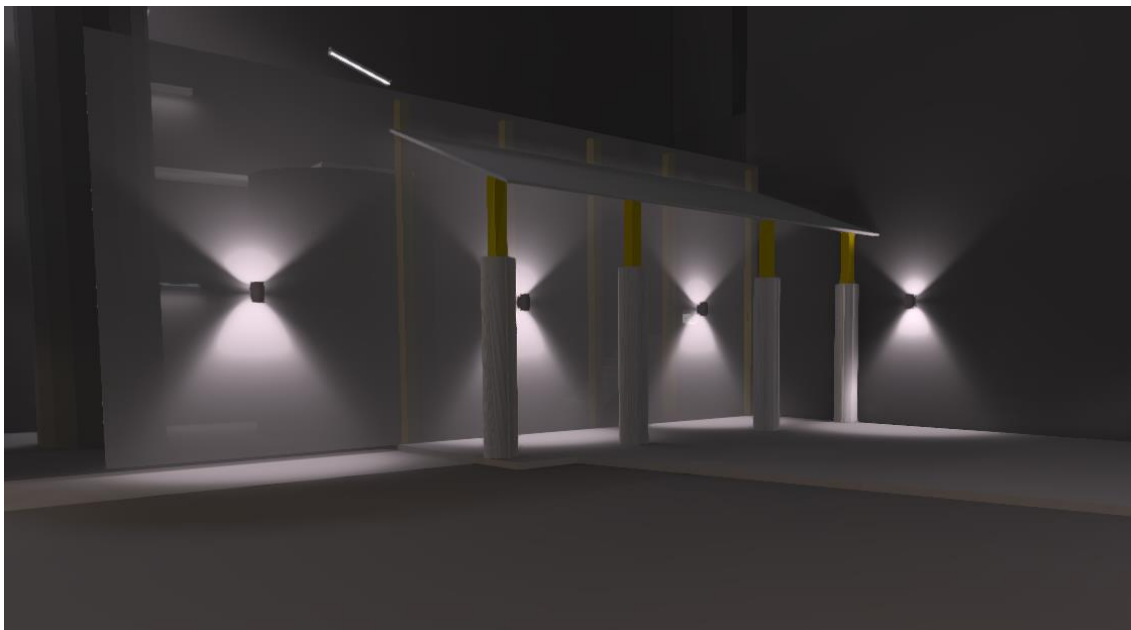
Kuvassa 28 on havainnollistettu opastekyltin valaisua, johon ei tosin ole mallinnettu aita- ja porttirakenteita tai postilaatikkoa.

Tehdas- ja toimistorakennuksen sisäänkäynnin edustalle oli syytä suunnitella myös hieman tyylitellympi valaistus. Sisäänkäynnin edustalla on ohjaava seinämä, joka on tehty ristikkomaisesta aitamateriaalista, kuten kuvasta 29 nähdään, jossa näkyy myös nykyiset sisääntuloalueen valaisimet.



**Kuva 29. Tehdasrakennuksen sisääntulo.**

Nykyisten valaisimien korvaajiksi suunniteltiin Fagerhultin Rondo G2 Power Twin -valaisin, jossa on ylä- ja alavalo leveällä valokeilalla. Valaisimen valovirta on noin 2 800 luumenia. Korvattavia valaisimia on kaiken kaikkiaan neljä kappaletta, joista yksi on kuvassa 29 oikealla näkyvä Enston Avr8-valaisin. Valaisimet tuottavat sisääntuloreitille noin sadan luksin valaistusvoimakkuuden, joka yhdistettynä tyylieltyyn valaisimeen on varsin kutsuva. Sisääntuloalueen valaisimet suunniteltiin samalla laitettavaksi samaan asennuskorkeuteen, jotta lopputulos näyttäisi viimeistellyltä.



**Kuva 30. Tehdasrakennuksen sisääntulon valaistus mallinnus.**

Kuvassa 30 näkyy DIALuxissa tehty valaistusmallinnus sisääntuloalueen valaistuksesta, missä valaisimet ovat suunniteltu samaan korkeuteen.

## 6.5 Valaistuksen elinkaari- ja kustannuslaskelmat sekä energiansäästö

Valaistuksen suunnittelusta tehtiin vertailevaa valaistuksen elinkaarilaskelmaa suunnittelun tueksi ja asiakkaalle havainnollistamiseksi. Elinkaarilaskelmat tehtiin käyttäen Motivan VALTTI-elinkaarikustannuslaskelmaa, joka on kaikkien vapaasti käytettävissä. VALTTI-elinkaarikustannuslaskelman positiivisiin puoliin kuuluu laskelmaan rakennetut visuaaliset ominaisuudet, jotka auttavat hahmottamaan valaistuksessa syntyviä kuuluiä elinkaarensa aikana. Täydellisen version haittapuolena on laskelmamallin raskaus ja haasteellisuus ilman ohjeisiin perehtymistä. VALTTI-elinkaarikustannuslaskelmasta on tosin saatavilla yksinkertaisempi pikaversio, joka käyttää samaa pohjaa, mutta täydellisen version tarkemmat sarakkeet ovat piilotettuja.

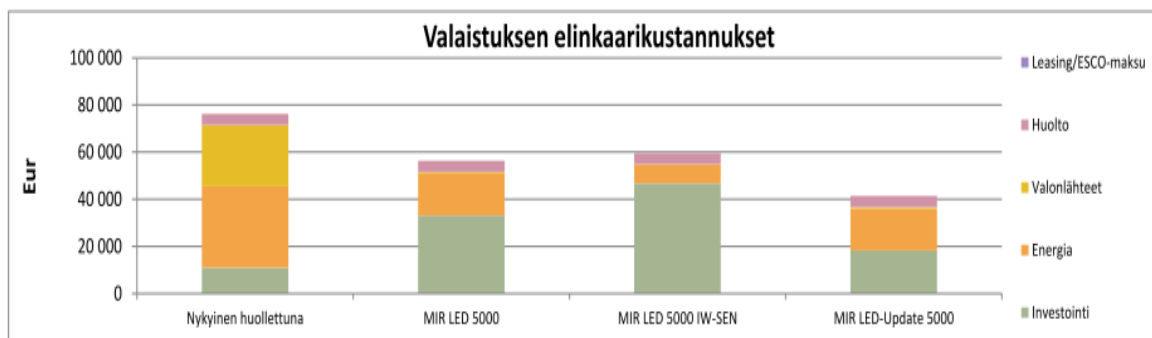
Laskelmissa käytettyjen työkustannusten hintojen alustuksena on käytetty asiakkaan toimittamia dokumentteja aiemmin toteutuneista valaisimien saneerausprojekteista. Valaisimien lampujen ja puhdistusten hinnat ovat suhteutettuna valaisimen vaihdon hintaan ja ne sisältävät myös materiaalikustannukset. Haastavampien valaisimien, kuten valonheittimien ja korkealla olevien seinävalaisimien asennuskustannuksiin on ole-

tettu kuluvan enemmän aikaa ja siten myös kustannuksia näiden osalta on kasvatettu. Valaisimien, valonlähteiden ja liitäntälaitteiden hinnoissa on käytetty suositushinnastoa, josta todellisuudessa asiakas saa alennusta, mutta tilattaessa työt tarvikkeineen ulkopuoliselta, tulee tarvikkeen hinnaksi helposti tuo nimenomainen suositushinta, jonka vuoksi sitä on laskelmissa käytetty.

Tarkemmat vertailevat laskelmat tehtiin aluevalaistuksen uusimisesta ja työ- ja kulkutasojen loisteputkivalaisimien uusimisesta. Loistelamppuvalaisimien vertailua oli helppo toteuttaa, sillä valaisimet suunniteltiin tulevan nykyisille paikoille, jolloin valaistus oli laadultaan ja ominaisuuksiltaan vastaavanlainen. Valaistuksesta tehtiin laskelmat neljälle eri valaisinratkaisulle, jotka kaikki käyttivät perustana Glamoxin MIR-valaisinta, jota on käytetty tehdasalueella muuallakin. Nämä neljä eri valaisin ratkaisua olivat

- nykyisen valaistuksen täydellinen huoltaminen uusimalla liitäntälaitteet ja valaisimen kuvut
- nykyisen valaistuksen uusiminen vastaavalla ledivalaisimella
- nykyisen valaistuksen uusiminen vastaavalla ledivalaisimella, jossa on valaisimeen integroidut PIR-tutkat
- nykyisen valaistuksen päivittäminen MIR KIT LED-päivityssarjalla, joka käy lähes suoraan vanhoihin MIR-valaisimiin, ja lisäksi nykyisten valaisimien kupujen uusiminen.

Liitteessä 1 on esitetty työ- ja kulkutasojen valaistuksen elinkaarikustannuslaskelmat, josta on huomattavissa, että valaistuksen ohjauksella ei välttämättä saavuteta aina riittävästi säästöjä. Liitteen 1 laskelmista huomataan, että Glamoxin MIR LED -valaisin tulee halvemmaksi elinkaarensa aikana, joka laskelmassa on jopa 25 vuotta, ilman valaisimeen integroituja valaistuksen ohjausjärjestelmiä kuin niiden kanssa. Kuvassa 31 on esitetty liitteessä 1 vertailtavien valaisimien elinkaarikustannukset 25 vuoden aikana.



Kuva 31. Työtasovalaisimien elinkaarikustannukset.

Huomioitavaa tässä tuloksessa on se, että kyse on ulkovalaistuksesta, sillä ympärivuorokauden toimivissa laitoksissa, kuten sisätilat prosessiteollisuudessa, valaistuksen käyttöajat ovat luonnollisesti huomattavan paljon suurempia ilman ohjausta. Hämäräkytkimellä ohjattaessa käyttöajat ulkovalaistuksessa ovat noin 4 000 tuntia, kun vuodessa on tunteja 8 760.

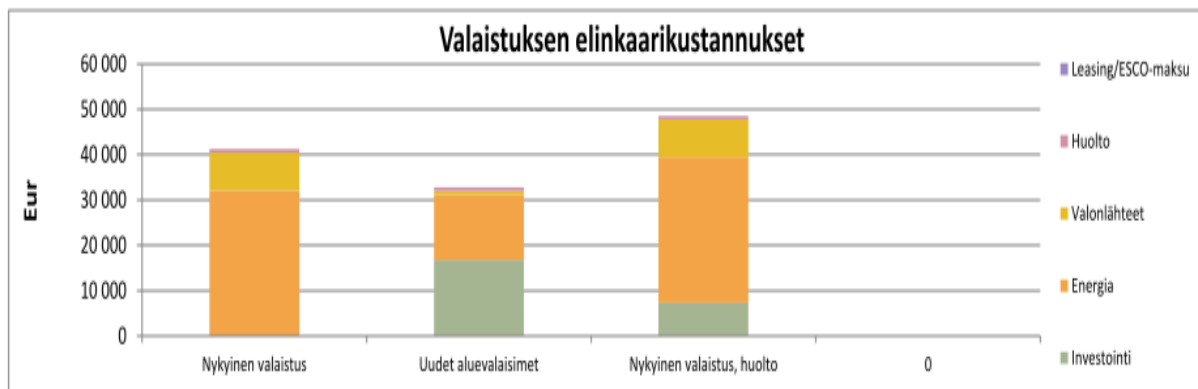
Liitteestä 1 voidaan tehdä päätelmä, että valaistus kannattaisi uusia MIR KIT LED -päivityssarjalla ja samalla uusimilla nykyisten valaisimien kuvat. Tuo vaihtoehto on kuitenkin esitetty laskelmaan vertailun vuoksi, sillä asiakaskohteessa, huomattavan suuri osa oli täysin alkuperäisiä Glamoxin GLI-valaisimia, jotka eivät ole MIR-valaisinperhettä, jota on asennettu ulkovalaistukseen vuonna 1998 raffinointilaitoksen laajennoksen yhteydessä. Tämän vuoksi asiakkaan kanssa päätettiin uusia kaikki valaisimet kokonaan.

Valaistuksen elinkaarilaskelmat tehtiin myös aluevalaistuksesta, jossa SpNa- ja monimetallivalaisimet suunniteltiin uusittavan ledivalaisimiksi. Laskelmat ovat esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 2. Laskelmassa näkyy ainoastaan uuden suunnitellun valaistuksen kohdalla keskiarvot kaikista vastaavan aluevalaistuksen valaisimista. Lisättyjä valonlähteitä ei lisätty laskelmaan, sillä muutoin laskelmat eivät olisi olleet keskenään vertailukelpoisia. Lisäksi valaisimien teho- ja hintaluokat ovat tehtynä keskiarvona kaikista valaisimista, sillä aluevalaistuksessa ei käytetty ainoastaan yhtä valaisinta. Kolme valittua valaisinratkaisua vertailua varten olivat

- nykyisen valaistuksen pitäminen ilman huoltamista
- nykyisen valaistuksen täydellinen huoltaminen uusimalla liitännälaitteet
- nykyisen valaistuksen uusiminen vastaavalla ledivalaisimella.



Kuvassa 32 on esitetty vertailtavien valaisimien elinkaarikustannukset 25 vuoden aikana.



Kuva 32. Aluevalaisimien elinkaarikustannukset.

Kuvasta 32 huomataan, että valaistuksen energiakustannus laskee huomattavasti, vaikka korvattavissa valaisimissa on myös SpNa-valaisimia, joiden valotehokkuus on ledivalaisinta vastaava. Tehon kulutus laskee aluevalaistuksessa sen vuoksi, että valoa on saatu huomattavan paremmin tuotua tarvittaviin paikkoihin, jolloin tehon ylitykseltä vältytään.

Valaistuksen arvioitu kokonaiskustannus sisältäen asennustyöhinnat on esitetty kokonaisuudessa liitteessä 3. Valaisimien hintoina on käytetty valaisintoimittajilta tiedusteltuja suositushintoja tai SLO:n sähkötukun antamia hintoja. Asennuskustannuksina valaisimien vaihtotyölle on käytetty asiakkaan toimittamia tietoja. Valaisimien muutostai uudistystyöhinnittelussa on puolestaan käytetty Sähköinfon yksikkökustannusohjelmaa, josta löytyy hintatietoja esimerkiksi jakorasiaan asennukselle eri materiaaleihin.

Kuvassa 33 näkyy projektin kokonaiskustannus mahdollisilla alennuksilla. Valaisimille on laskennassa annettu sekä 20 % että 40 % alennukset. Lisäksi laskelmiin on otettu huomioon mahdollinen investointiin saatava energiatuki, jota on yritysten mahdollista hakea energiatehokkuutta parantaviin hankkeisiin.

Kustannukset yhteensä	Alv (0 %)	Alv (24 %)
Ilman alennuksia	86 900 €	107 800 €
Energiatuki 20 %	69 500 €	86 200 €
Valaisimien alennus 20 % + energiatuki	57 500 €	71 300 €
Valaisimien alennus 40 % + energiatuki	47 900 €	59 400 €
Valaisimien alennus 20 %	71 900 €	89 200 €
Valaisimien alennus 40 %	59 900 €	74 300 €

Kuva 33. Projektin kokonaiskustannukset.

Kuvasta 33 huomataan, että projektin kokonaiskustannukseen vaikuttaa suuresti, jos valaisimia saadaan ostettua ns. asiakashintaan ja luonnollisesti hintaan vaikuttaa myöskin tilausmäärät projektissa, jolloin voidaan neuvotella parempia hintoja.

Projektin valaisinkustannukseksi tuli kokonaisuudessaan 86 900 euroa ja asennuskuluja arvioitiin tulevan 11 900 euroa, joista 6 155 euroa muodostui valaisimien vaihtotyöstä ja purkutöistä ja loput uusille ja siirretyille valaisimille suunnitelluille kaapelin vedoille.

Uuden energiatehokkaamman ledivalaistuksen ja suuntaavien valonjakojen avulla kohteen energiankulutusta saadaan valaistuksen osalta vähennettyä huomattavasti, vaikka kohteeseen suunniteltiin lisävalaistusta.

Energian kulutus ja kustannukset

Kulutus

35250 kWh/a

LENI

3 kWh/a/m<sup>2</sup>

Kustannukset

2112 €/a

Nopeusmittarin ominaisuudet

☒ Näytä energian nopeusmittari

Näytön tyyppi

00

00

00

Määrätty raja

0.000 €/a

Hinta per kWh

0.060 €

Valuuttayksikkö

€

Kuva 34. Suunnittelun valaistuksen laskennallinen energian kulutus DIALux evolla.

DIALux evo -ohjelmaan on määritelty sähköenergianhinta, jonka avulla saadaan ohjelmasta suoraan valaistukseen kuluva energiakustannusten arvo vuodessa. Ohjelma laskee energiankulutuksen mallissa käytetyistä valaisimista ja niille asetettuihin käyttö-

tunteihin ja himmennysarvoihin. DIALux evoon on suoraan sisäänrakennettu valmiit käyttötuntiajat eri valaistusolosuhteille. Tässä ulkovalaistukselle oli määritetty 4 400 tuntia. Kuvassa 34 on esitetty uuden valaistuksen laskennallinen energiankulutus vuodessa, josta nähdään, että valaistukseen kuluu noin 2 100 euroa vuodessa.

Kuvassa 35 on puolestaan esitetty nykyisen valaistuksen energiankulutus vuodessa, jossa on luonnollisesti käytetty samaa energianhintaa, jolloin valaistuksen kustannukset ovat noin 4 500 euroa vuodessa.

Energian kulutus ja kustannukset	
Kulutus	75700 kWh/a
LENI	6 kWh/a/m <sup>2</sup>
Kustannukset	4534 €/a

Nopeusmittarin ominaisuudet	
<input checked="" type="checkbox"/> Näytä energian nopeusmittari	
Näytön tyyppi	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Määrätty raja	0.000 €/a
Hinta per kWh	0.060 €
Valuuttayksikkö	€

**Kuva 35. Nykyisen valaistuksen energian kulutus ja kustannukset DIALux evolla.**

Kuvien 34 ja 35 avulla voidaan todeta, että valaistuksen energiankulutus puolittui uudella valaistuksella ja siten myös valaistuksen kustannukset alentuivat energian hinnan osalta puoleen.

## 7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli suunnitella Avena Kantvik Oy:n tehdaskiinteistölle uusi ulkovalaistus selvittäen ensin nykyisen valaistuksen tilanne. Tarkoituksena oli myös selvittää mahdollisia valaistuksen ohjaustapoja nykyisen hämäräkytkimellä toimivan valaistuksen ohjauksen rinnalle. Lisäksi tarkoitus oli vertailla ja laskea takaisinmaksuaikoja eri alueiden valaisimille. Projekti oli varsin kattava, sillä kiinteistöalue oli varsin laaja ja moninainen. Lisäksi kiinteistön alueella oli valaistusteknisiä ratkaisuja eri vuosikymmeniltä, mitkä tuli suunnittelussa ottaa huomioon. Saneerauskohteissa muutoinkin joudutaan soveltamaan vanhan ja uuden tavan yhdistämistä. Lisäksi kustannusten vuoksi tulisi tehdä niin vähän ylimääräisiä muutoksia kuin tarpeen.

Projekti oli kuitenkin lopulta erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen. Lisäksi hieman yllätyksenä elinkaarikustannuslaskelmien vertailussa valaisinmallien välillä ilmeni, ettei lisäohjauksella aina saavuteta tarpeeksi säästöjä kattamaan lisäohjauksesta syntyvää kustannushintaa. Pohdinnan jälkeen tämä on toisinaan ulkovalaistuksessa varsin mahdollista, sillä ulkovalaistusta käytetään kuitenkin puolet siitä ajasta, mitä sisävalaistusta ympärivuorokauden toimivissa kiinteistöissä. Ledivalaistuksen myötä valaistustapojen määrä on kasvanut huimasti ja aluevalaistusta voidaan toteuttaa erilaisin keinoin ja valaisimin, kun vertaa Valaistustekniikan käsikirjassa 3 esitettyihin valaistustapoihin. Erityisesti valaistusta suunniteltaessa tulee helposti kokeiltua jatkuvasti erilaisempia valaisimia ja valmistajia aina hieman paremman lopputuloksen toivossa, joka ei kuitenkaan ole käytännössä kannattavaa.

DIALux evo -ohjelmaan perehtyminen ja tietomallien hyödyntäminen oli varsin mielenkiintoinen, mutta samalla aikaakuluttava ja raskas prosessi. Käytännössä projektin toteuttaminen olisi ollut huomattavan paljon nopeampaa ilman laajaa tehdaskiinteistön mallintamista, mutta joitakin laajempia mallinnuksen keinoja voitaneen soveltaa onnistuneesti tulevaisakin projekteissa, kuten IFC-tiedostojen vieminen DIALux evo -ohjelmaan ja 3D-objektien hyödyntäminen.

Työn tavoitteet toteutuivat, sillä kohteeseen suunniteltiin valaistus, joka on energia tehokkaampi ja yhteneväisempi. Lisäksi valaistusta parannettiin alueilla, joilla on nykyisellään heikko valaistus. Uusi valaistus saatiin suunniteltua vähin muutostarpein, mikä vähentää asennuskuluja suunnitelmaa toteuttaessa.

## Lähteet

Ahponen, Veikko; Oksaharju, Sinikka. 1985. Valaistustekniikan käsikirja III. Helsinki: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy.

Alkila Martta. 2017. LEED ja BREEAM – vapaaehtoisten laatujärjestelmien vaikutuksia valaistussuunnitteluun. Opetusmoniste. Valoakatemia.

Automaattinen ohjaus. 2009. Verkkoaineisto. Ensto.  
<<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228466781352/1231502301987/1231502701113.html>>. Päivitetty 9.1.2009. Luettu 18.3.2018.

AVR320 – Uusi langaton Radio-ohjaus. 2016. Verkkoaineisto. Ensto.  
<<https://www.ensto.com/fi/yhtio/uutiset-ja-media/tuoteuutiset/avr320--uusi-langaton-radio-ohjaus/>>. Päivitetty 9.9.2016. Luettu 22.3.2018.

Colour temperature. Verkkoaineisto. <<https://lightingdesignstudio.co.uk/colour-temperature/>>. Luettu 10.4.2018.

DALI-järjestelmän suunnittelussa huomioitavia asioita. 2017. Webinaari. Glamox Luxo Lighting Oy.

Difference between NWD and NWF file formats. 2014. Verkkoaineisto. Autodesk.  
<<https://knowledge.autodesk.com/support/navisworks-products/learn-explore/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Difference-between-NWD-and-NWF-file-formats.html>>. Päivitetty 1.10.2014. Luettu 3.4.2018.

DTR-20 astronominen kytkinkello. 2018. Tuotekortti. Hedtec.

Elintarviketeollisuus. Verkkoaineisto. Glamox Luxo Lighting Oy.  
<<http://glamox.com/fi/solutions/industry-elintarviketeollisuus>>. Luettu 23.3.2018.

Floodlight 20 Family. 2017. Verkkoaineisto. Osram.  
<[https://media.osram.info/im/img/osram-dam-2315127/downloads/Floodlight\\_20\\_Family\\_\(EN\).pdf](https://media.osram.info/im/img/osram-dam-2315127/downloads/Floodlight_20_Family_(EN).pdf)>. Luettu 30.3.2018.

IFC Overview. Verkkoaineisto. <<http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>>.

Kallasjoki, Tapio. 2015a. LED-valaistus. Opetusmoniste. Metropolia ammattikorkeakoulu

Kallasjoki, Tapio. 2015b. Valaistustekniikan perusteet luentomoniste. Opetusmoniste. Metropolia ammattikorkeakoulu

Kallasjoki, Tapio. 2015c. Valon väriominaisuudet. Opetusmoniste. Metropolia ammattikorkeakoulu

Kallasjoki, Tapio. 2016. Valaistus ja energia. Opetusmoniste. Metropolia ammattikorkeakoulu.

Kemialliset laitokset. Verkkoaineisto. Glamox Luxo Lighting Oy. <<http://glamox.com/fi/solutions/industry-kemialliset-laitokset>>. Luettu 23.3.2018.

Kotelointiluokka kertoo sähkölaitteesta kaiken oleellisen. 2015. Verkkoaineisto. <[http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkoteknikka/fi\\_FI/011015\\_kotelointilukat/](http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkoteknikka/fi_FI/011015_kotelointilukat/)>. Päivitetty 1.10.2015. Luettu 1.3.2018.

Led perusteet. Verkkoaineisto. Glamox Luxo Lighting Oy. <<http://glamox.com/fi/led-perusteet->>. Luettu 7.3.2018.

Ledien elinikä. Verkkoaineisto. Glamox Luxo Lighting Oy. <<http://glamox.com/fi/ledien-elinika1>>. Luettu 1.3.2018.

Martikainen, Marko. 2016. Valonlähteet. Opetusmoniste. Valoakatemia.

Muovisanastoa. Verkkoaineisto. Muoviteollisuus ry. <<https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/>>. Luettu 2.3.2018.

Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0. 2016. Verkkoaineisto. Teknologiateollisuus. <[http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file\\_attachments/nain\\_vertaillet\\_ledivalaisimia\\_2.0\\_2016\\_final.pdf](http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/nain_vertaillet_ledivalaisimia_2.0_2016_final.pdf)>. Päivitetty 4.11.2016. Luettu 1.3.2018.

O91 LED 35000 HF 750 ASY. Verkkoaineisto. Glamox Luxo Lighting Oy. <<http://glamox.com/fi/products/O91-LED/items/514047522>>. Luettu 10.4.2018.

Onko värintoistoindeksi CRI tärkeä lukema ja mitä se kertoo? Verkkoaineisto. <<http://www.valokas.fi/fi/cri>>. Luettu 7.3.2018.

Partonen Timo. 2016. Valon ei-visuaaliset vaikutukset ja kirkasvalohoito. Opetusmoniste. Valoakatemia.

Perla. 2017. Verkkoaineisto. Ensto. <[https://www.ensto.com/files/catalogs/images/alppilux/liitetiedostot/tuotekortit/BR2\\_Perla.pdf](https://www.ensto.com/files/catalogs/images/alppilux/liitetiedostot/tuotekortit/BR2_Perla.pdf)>. Päivitetty 15.8.2017. Luettu 30.3.2018.

Pietilä Anssi. 2015. Valaistusohjauksella saavutettavat säästöt logistiikkakeskuksen ulkovalaistuksessa. Insinööritö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Requirements for a good IFC import. 2017. Verkkoaineisto. <<http://evo.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000118341-requirements-for-a-good-ifc-import>>. Päivitetty 5.4.2018. Luettu 5.4.2018.

SFS-EN 12464-1. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2011. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 12464-2 Light and lighting - Lighting of work places - Part 2: Outdoor work places. 2014. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry

ST-57.40. Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST-58.09. 2003. Ulkovalaistus. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST-58.10. 2017. Julkisivuvalaistus ja muu ulkotilojen erikoisvalaistus. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST-58.31. 2016. Valonlähteiden säätö ja ohjaus. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkönumerot.fi. 2018. Verkkoaineisto. <<https://www.sahkonumerot.fi/4504445>> Luettu 17.4.2018.

Talvisään tilastoja. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos.<<http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitilastot>>. Luettu 23.3.2018.

Tehdasvalo tuoteluettelo. 2018. Verkkoaineisto. Tehdasvalo. <Tehdasvalo\_tuoteluettelo2018>. Luettu 23.3.2018.

Tuotetekstien selitykset. Verkkoaineisto. Glamox Luxo Lighting Oy. <<http://glamox.com/fi/tuotetekstien-selitykset>>. Luettu 6.5.2018

Vaaralliset alueet. Verkkoaineisto. Glamox Luxo Lighting Oy. <<http://glamox.com/fi/solutions/industry-vaaralliset-alueet>>. Luettu 23.3.2018.

Valaistuksen kokonaisvaikutelma ja valon väri. Verkkoaineisto. Fagerhult Oy. <<https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Valaistuksen-kokonaisvaikutelma-ja-valon-vari/>>. Luettu 10.3.2018.

Valaistussuunnittelijan käsikirja. 2009. Verkkoaineisto. Fagerhult Oy. <[https://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo\\_FI\\_09.pdf](https://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_FI_09.pdf)>. Luettu 2.3.2018.

Varsila Markku. 2016. Valaistus ja valaisimet. Opetusmoniste. Valoakatemia.

Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

## VALAISTUSRATKAISUJEN ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA Ulkovaalaistuslaskenta

Versio 1.0

<b>HANKKEEN KUVAUS:</b>	<b>Opinnäytetyö / Ulkovaalaistuksen suunnittelu tehdaskiinteistöissä</b>
<b>PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:</b>	<b>09.04.2018 / Niko Uimonen</b>

ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - MUUTA TARVITTAESSA					
Laskenta-aika	a	25			
Laskentakorko (tuottovaatimus, lainakorko)	%	4,00			
Vuotuinen energian hinnannousu	%	2,00			
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu	%	2,00			
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu	%	2,00			
VALAISINTIEDOT - täytä nämä tiedot					
Vaihtoehdon nimi	-	Nykyinen huollettuna	MIR LED 5000	MIR LED 5000 IW-SEN	MIR LED-Update 5000
Valaisinmäärä poikkileikkauksessa / alueella	kpl	104	104	104	104
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	kpl	2	1	1	1
Teho/valonlähde mukaan lukien liitännälaitteen häviöteho	W	36	37	37	37
Valmistaja (ei vaikuta laskentaan)	-	Glamox	Glamox	Glamox	Glamox
Pylväsmäärä tien poikkileikkauksessa (pylväsvälillä) / alueella	kpl				
VALAISTUSTEKNISET TIEDOT (ei vaikuta laskentaan)					
Valaistusvoimakkuus työskentelyalueella, $E_m$ / pintaluminanssi, L	-	100 lx	100 lx	100 lx	100 lx
Valaistuslaskennassa käytetty huoltokerroin / alenemakerroin, MF	-	0,7	0,8	0,8	0,8
Valonlähteen valovirran pysyvyyskerroin, LLMF	-		0,89	0,89	0,89
Valonlähteiden eloonjäämiskerroin, LSF	-		1	1	1
Valaisimen valovirran alenema, LMF	-	0,94	0,94	0,94	0,94
Valaistuksen tasaisuus, $U_0$	-	0,4	0,4	0,4	0,4
Värintoistoindeksi, Ra	-	80	80	80	80
Väriämpötila, K	-	4000	4000	4000	4000
Häikäisyindeksi, UGR	-				
VALAISIMIEN KÄYTTÖIKÄ JA VALAISTUKSEN OHJAUS - täytä nämä tiedot					
Valonlähteen (lampun) elinikä	h	16 000	90 000	90 000	90 000
Hyväksyttävä valovirran alenema elinkaaren lopussa	%	10	30	30	30
Kerroin L, osuus alkuperäisestä valovirrasta käyttöajan lopussa	%	90	70	70	70
Kerroin C, osuus kuolleista valonlähteistä käyttöajan lopussa	%	10	10	10	10
Käyttöaika vuodessa tunteina valikosta tai itse annettuna	h/vuosi	4 000	4 000	4 000	4 000
Valaistuksen ohjaustavasta riippuva käyttöaikaokerroinluku 0-1	-	1,00	1,00	Läsnäolo/vakiovalo	1,00
Valaisimien huoltoväli (esim. puhdistus)	vuosia	4	4	4	4
Valaistuksen himmennetty aika valikosta tai itse annettuna	h/vuosi	Ei himmennystä	Ei himmennystä	Yöhimmennys 2200 h/a	Ei himmennystä
Himmenetyn valaistuksen sähkötehon osuus täydestä tehosta	-	1,00	1,00	0,50	1,00





Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

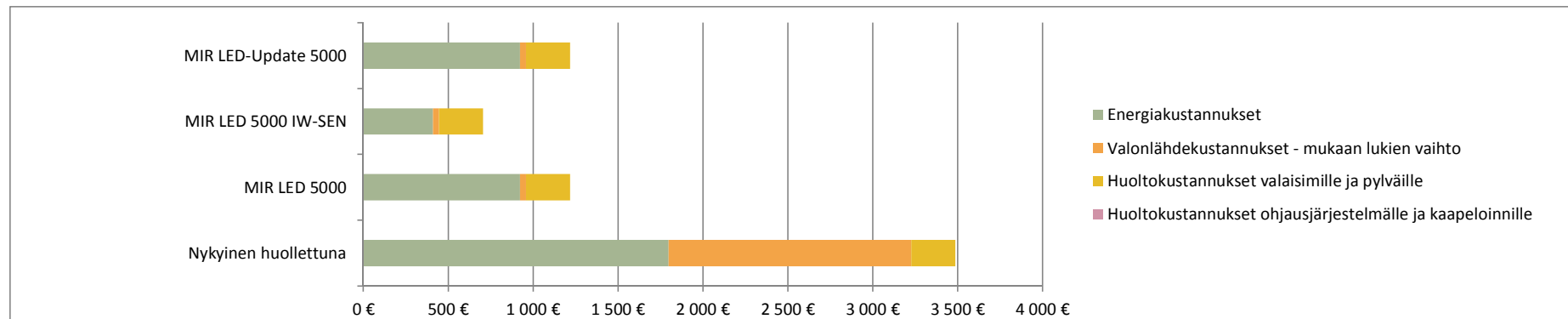
Täytä joko 3 ensimmäistä riviä 55-57 TAI rivit 59-68. Jos syötät tietoa kaikille riveille 55-68, niin vain 3 ylimmän rivin 55-57 sisältöä käytetään laskennassa.					
<b>INVESTOINTIKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>		Nykyinen huollettuna	MIR LED 5000	MIR LED 5000 IW-SEN	MIR LED-Update 5000
Valaistuksen kokonaiskustannus	€	5 720	30 160	43 680	13 520
Valonlähteiden (lamppujen) kokonaiskustannus	€				
Asennuksen ja muun tekniikan kokonaiskustannus	€	5 200	3032	3032	4 680
Valaisimen yksikköhinta	€/kpl	0	270	420	130
Pylvään ja jalustan hinta varusteineen	€/kpl	30, Kupu	17, Asennuskiinnike	17, Asennuskiinnike	30, Kupu
Valonlähteiden (lamppujen, LED-modulien) yksikköhinta	€/kpl	55, Liitäntälaite			
Materiaali- ja työ kustannukset/valaisin	€/valaisin	20	20	20	15
Sähköverkon hinta	€/m				
Kiinteä kustannus pylvästä kohti	€/pylväs				
Muut kustannukset investointiin liittyen	€				
Pylväsväli katuvalaistuksessa	m				
Sähköverkon pituus aluevalaistuksessa	m				
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	€				
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>	<b>€</b>	<b>10 920</b>	<b>33 192</b>	<b>46 712</b>	<b>18 200</b>

Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - täytä nämä tiedot		Nykyinen huollettuna	MIR LED 5000	MIR LED 5000 IW-SEN	MIR LED-Update 5000
Leasing / ESCO -maksu - jos tämä annetaan, muita kuluja ei lasketa	€/vuosi				
Sähköenergian hinta	€/kWh	0,06	0,06	0,06	0,06
Pylvään kiinteät kustannukset/kappale	€/vuosi				
Valonlähteet: vaihtokustannus massavaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl	20			
Valonlähteet: vaihtokustannus yksittäisvaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl	75	75	75	75
Valaisimet: ennakoitu huoltokustannus huoltovälin lopussa	€/kpl	10	10	10	10
Valaisimet ja kannattimet: vuosihuoltokustannus	€/kpl/vuosi				
Ohjaus- ja kaapelointi: ennakoitu huoltokustannus huoltovälille	€				
Ohjaus- ja kaapelointi: käyttöaika ennen huoltoa (huoltoväli)	vuosia				
Asennettu teho mukaan lukien liitännäislaitehäviöt	W				
Valonlähteiden (lamppujen) ja valaisimien huoltokustannus	€/vuosi				

Asennettu teho mukaan lukien liitännäislaitehäviöt	W	7 488	3 848	3 848	3 848
Valaistuksen käyttöaika kerroin aikaisemmin annettuna	-	1,00	1,00	0,72	1,00
Laskettu energiankulutus / vuosi	MWh/a	29,95	15,39	6,85	15,39
Laskettu valonlähteiden (lamppujen) vaihtoväli	vuosia	4	23	31	23
Aiemmin annettu valaisimien huoltoväli (puhdistus)	vuosia	4	4	4	4

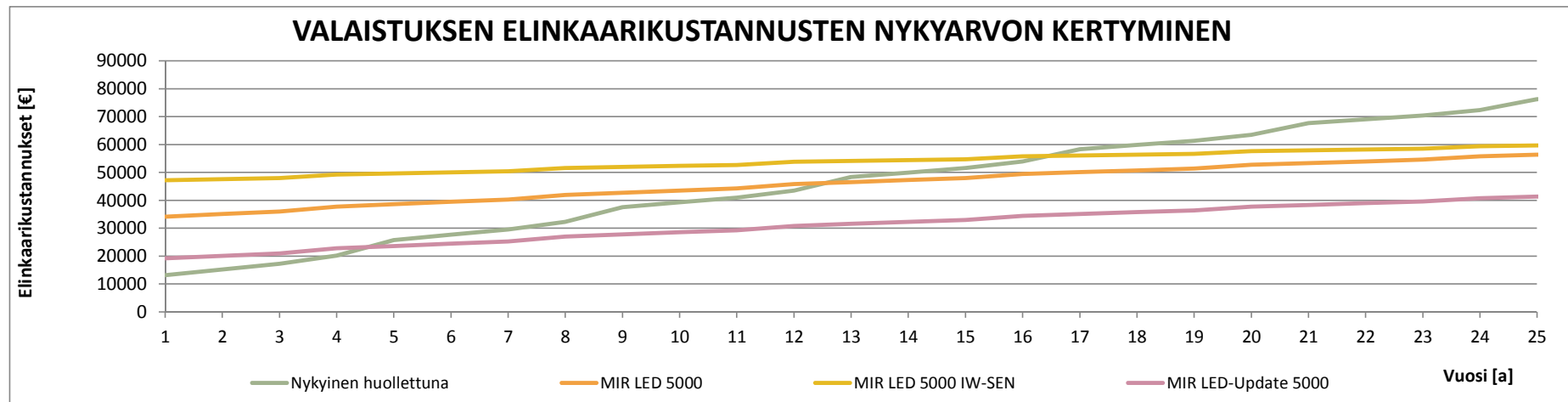
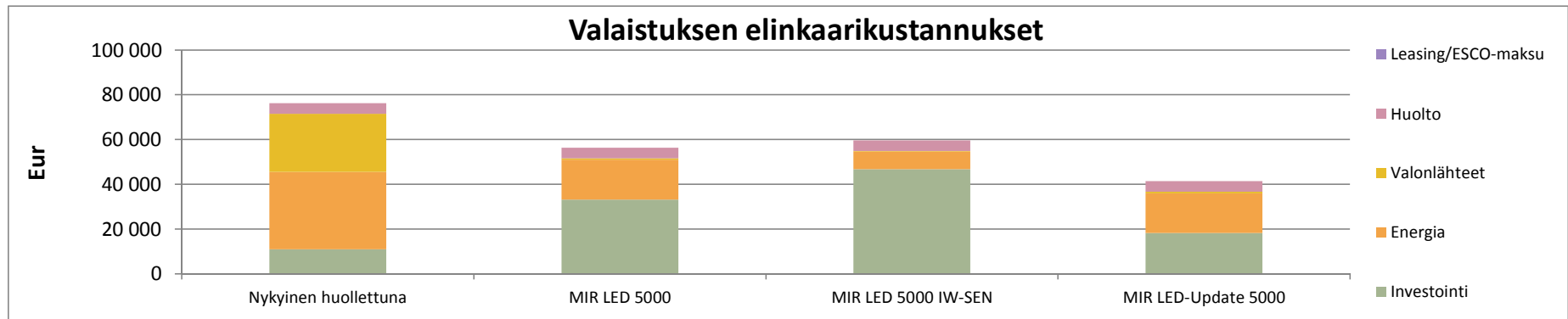
KÄYTTÖKUSTANNUSTEN YHTEENVETO		Nykyinen huollettuna	MIR LED 5000	MIR LED 5000 IW-SEN	MIR LED-Update 5000
Energiakustannukset	€/vuosi	1 797	924	411	924
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto	€/vuosi	1 430	35	35	35
Huoltokustannukset valaisimille ja pylväille	€/vuosi	260	260	260	260
Huoltokustannukset ohjausjärjestelmälle ja kaapeloinnille	€/vuosi	0	0	0	0
Käyttökustannukset yhteensä	€/vuosi	3 487	1 218	706	1 218



Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

Valonlähdekustannusten nykyarvo					
Vaihtoehdon nimi		Nykyinen huollettuna	MIR LED 5000	MIR LED 5000 IW-SEN	MIR LED-Update 5000
Investointikustannus yhteensä	€	10 920	33 192	46 712	18 200
Leasing / ESCO maksun nykyarvo	€	0	0	0	0
Energiakustannusten nykyarvo	€	34 626	17 794	7 918	17 794
Valonlähdekustannusten nykyarvo	€	25 963	668	297	668
Valaisimien huoltokustannusten nykyarvo	€	4 703	4 703	4 703	4 703
Ohjausjärjestelmien huoltokustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
<b>Elinkaarikustannuksen nykyarvo</b>	<b>€</b>	<b>76 211</b>	<b>56 356</b>	<b>59 630</b>	<b>41 364</b>

Nykyarvoilla laskettu takaisinmaksuaika elinkaarikustannuksiltaan kalleimpaan vaihtoehtoon verrattuna	vuosia	Suurin elinkaarikustannus	12	16	4
Sisäinen korkokanta vasemmanpuoleiseen tapaukseen verrattuna	vuosia	Tähän verrataan	9 %	6 %	31 %



Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

## VALAISTUSRATKAISUJEN ELINKAARIKUSTANNUSLASKENTA Ulkovalaistuslaskenta

Versio 1.0

<b>HANKKEEN KUVAUS:</b>	<b>Opinnäytetyö / Ulkovalaistuksen suunnittelu tehdaskiinteistössä</b>
<b>PÄIVÄMÄÄRÄ/TEKIJÄ:</b>	<b>09.04.2018 / Niko Uimonen</b>

ELINKAARIKUSTANNUSLASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - MUUTA TARVITTAESSA					
Laskenta-aika	a	25			
Laskentakorko (tuottovaatimus, lainakorko)	%	4,00			
Vuotuinen energian hinnannousu	%	2,00			
Vuotuinen valonlähteiden hinnannousu	%	2,00			
Vuotuinen huoltokustannusten hinnannousu	%	2,00			
VALAISINTIEDOT - täytä nämä tiedot					
Vaihtoehdon nimi	-	Nykyinen valaistus	Uudet aluevalaisimet	Nykyinen valaistus, huolto	
Valaisinmäärä poikkileikkauksessa / alueella	kpl	17	18	17	
Valonlähteiden lukumäärä/valaisin	kpl	1	1	1	
Teho/valonlähde mukaan lukien liitännälaitteen häviöteho	W	409	173	409	
Valmistaja (ei vaikuta laskentaan)	-	I-valo/Rexel	Glamox	I-valo/Rexel	
Pylväsmäärä tien poikkileikkauksessa (pylväsvälillä) / alueella	kpl				
VALAISTUSTEKNISET TIEDOT (ei vaikuta laskentaan)					
Valaistusvoimakkuus työskentelyalueella, $E_m$ / pintaluminanssi, L	-	Sama	Sama	Sama	
Valaistuslaskennassa käytetty huoltokerroin / alenemakerroin, MF	-	0,7	0,8	0,7	
Valonlähteen valovirran pysyvyyskerroin, LLMF	-		0,89		
Valonlähteiden eloonjäämiskerroin, LSF	-		1		
Valaisimen valovirran alenema, LMF	-	0,94	0,94	0,94	
Valaistuksen tasaisuus, $U_0$	-	0	0,4	0,4	
Värintoistoindeksi, Ra	-	20-90	70-80	70-80	
Väriämpötila, K	-	2 000-4 200	4 000	4 000	
Häikäisyindeksi, UGR	-				
VALAISIMIEN KÄYTTÖIKÄ JA VALAISTUKSEN OHJAUS - täytä nämä tiedot					
Valonlähteen (lampun) elinikä	h	18 000	75 000	18 000	
Hyväksyttävä valovirran alenema elinkaaren lopussa	%	20	30	20	
Kerroin L, osuus alkuperäisestä valovirrasta käyttöajan lopussa	%	80	70	80	
Kerroin C, osuus kuolleista valonlähteistä käyttöajan lopussa	%	10	10	10	
Käyttöaika vuodessa tunteina valikosta tai itse annettuna	h/vuosi	4 000	4 000	4 000	
Valaistuksen ohjaustavasta riippuva käyttöaikakerroinluku 0-1	-	1,00	1,00	1,00	
Valaisimien huoltoväli (esim. puhdistus)	vuosia	4	4	4	
Valaistuksen himmennetty aika valikosta tai itse annettuna	h/vuosi	Ei himmennystä	Ei himmennystä	Ei himmennystä	
Himmenetyn valaistuksen sähkötehon osuus täydestä tehosta	-	1,00	1,00	1,00	



Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

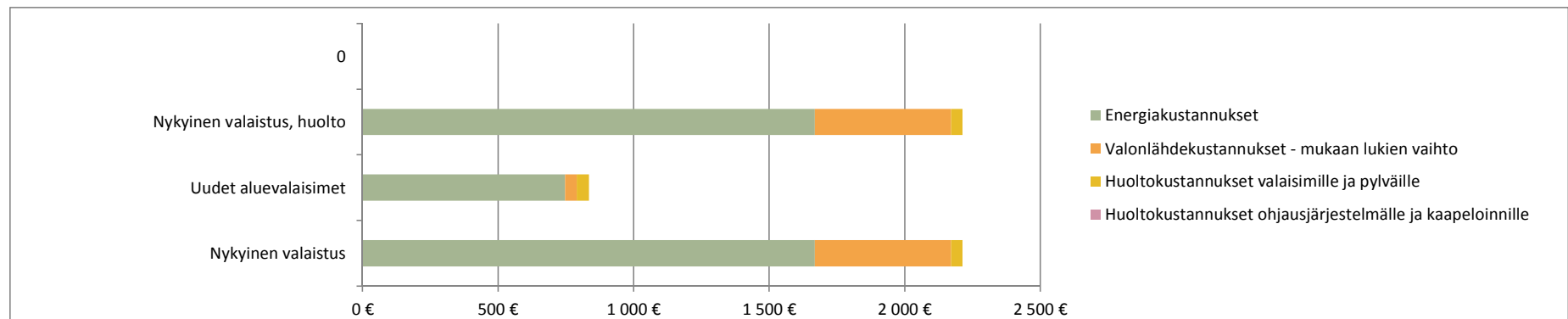
Täytä joko 3 ensimmäistä riviä 55-57 TAI rivit 59-68. Jos syötät tietoa kaikille riveille 55-68, niin vain 3 ylimmän rivin 55-57 sisältöä käytetään laskennassa.					
<b>INVESTOINTIKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>		Nykyinen valaistus	Uudet aluevalaisimet	Nykyinen valaistus, huolto	0
Valaistuksen kokonaiskustannus	€		15 336	6 800	
Valonlähteiden (lamppujen) kokonaiskustannus	€				
Asennuksen ja muun tekniikan kokonaiskustannus	€		1 420	510	
Valaisimen yksikköhinta	€/kpl		852		
Pylvään ja jalustan hinta varusteineen	€/kpl		30, Seinäasennuskiinnike		
Valonlähteiden (lamppujen, LED-modulien) yksikköhinta	€/kpl			400, Liitäntälaite	
Materiaali- ja työ kustannukset/valaisin	€/valaisin		40	30	
Sähköverkon hinta	€/m				
Kiinteä kustannus pylvästä kohti	€/pylväs				
Muut kustannukset investointiin liittyen	€		500, Valaisimien siirto		
Pylväsväli katuvalaistuksessa	m				
Sähköverkon pituus aluevalaistuksessa	m				
Olemassa olevan järjestelmän purkukustannukset	€				
<b>INVESTOINTIKUSTANNUKSET YHTEENSÄ</b>	<b>€</b>	<b>0</b>	<b>16 756</b>	<b>7 310</b>	<b>0</b>

Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

KÄYTTÖKUSTANNUSTEN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT - täytä nämä tiedot		Nykyinen valaistus	Uudet aluevalaisimet	Nykyinen valaistus, huolto	0
Leasing / ESCO -maksu - jos tämä annetaan, muita kuluja ei lasketa	€/vuosi				
Sähköenergian hinta	€/kWh	0,06	0,06	0,06	
Pylvään kiinteät kustannukset/kappale	€/vuosi				
Valonlähteet: vaihtokustannus massavaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl	100		100	
Valonlähteet: vaihtokustannus yksittäisvaihdossa (valonlähde ja työ)	€/kpl	430	450	430	
Valaisimet: ennakoitu huoltokustannus huoltovälin lopussa	€/kpl	10	10	10	
Valaisimet ja kannattimet: vuosihuoltokustannus	€/kpl/vuosi				
Ohjaus- ja kaapelointi: ennakoitu huoltokustannus huoltovälille	€				
Ohjaus- ja kaapelointi: käyttöaika ennen huoltoa (huoltoväli)	vuosia				
Asennettu teho mukaan lukien liitännäislaitehäviöt	W				
Valonlähteiden (lamppujen) ja valaisimien huoltokustannus	€/vuosi				

Asennettu teho mukaan lukien liitännäislaitehäviöt	W	6 953	3 114	6 953	0
Valaistuksen käyttöaika kerroin aikaisemmin annettuna	-	1,00	1,00	1,00	0,00
Laskettu energiankulutus / vuosi	MWh/a	27,81	12,46	27,81	0,00
Laskettu valonlähteiden (lamppujen) vaihtoväli	vuosia	5	19	5	0
Aiemmin annettu valaisimien huoltoväli (puhdistus)	vuosia	4	4	4	0

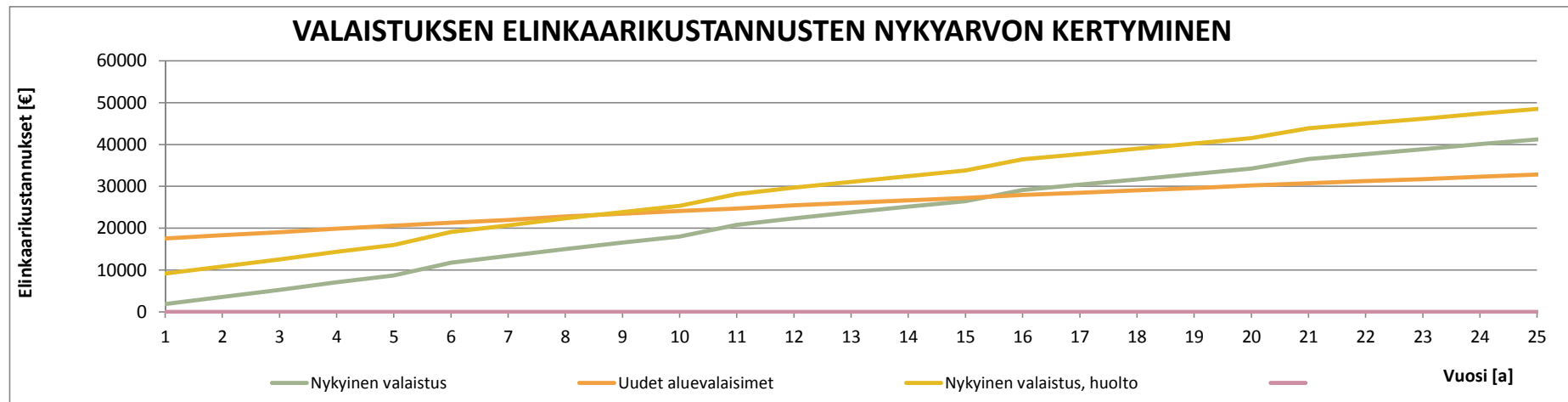
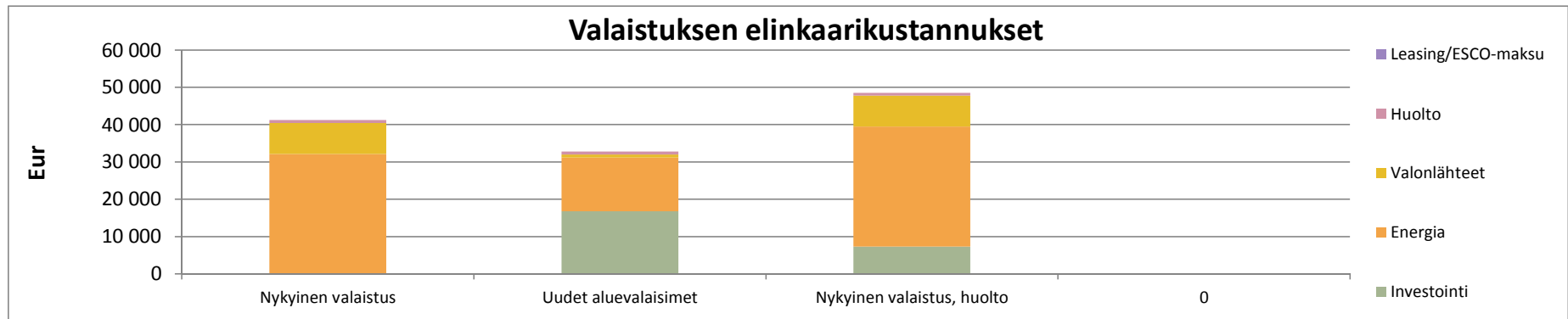
KÄYTTÖKUSTANNUSTEN YHTEENVETO		Nykyinen valaistus	Uudet aluevalaisimet	Nykyinen valaistus, huolto	0
Energiakustannukset	€/vuosi	1 669	747	1 669	0
Valonlähdekustannukset - mukaan lukien vaihto	€/vuosi	502	43	502	#JAKO/0!
Huoltokustannukset valaisimille ja pylväille	€/vuosi	43	45	43	0
Huoltokustannukset ohjausjärjestelmälle ja kaapeloinnille	€/vuosi	0	0	0	0
Käyttökustannukset yhteensä	€/vuosi	2 214	836	2 214	#JAKO/0!




Valtti –valaistuksen laskentatyökalu toimitetaan sellaisenaan ja käytettäväksi käyttöohjeen mukaiseen tarkoitukseen. Laskentatyökalun käyttö on käyttäjän vastuulla. Motiva ei myönnä sovellukseen liittyen mitään takuita tai takuehtoja. Motiva ei vastaa mistään suorasta tai epäsuorasta vahingosta, joka johtuu laskentaohjelman käytöstä. Käyttöohjeeseen tutustuminen ennen käyttöä on erittäin suositeltavaa.

Valonlähdekustannusten nykyarvo					
Vaihtoehdon nimi		Nykyinen valaistus	Uudet aluevalaisimet	Nykyinen valaistus, huolto	0
Investointikustannus yhteensä	€	0	16 756	7 310	0
Leasing / ESCO maksun nykyarvo	€	0	0	0	0
Energiakustannusten nykyarvo	€	32 152	14 400	32 152	0
Valonlähdekustannusten nykyarvo	€	8 290	832	8 290	0
Valaisimien huoltokustannusten nykyarvo	€	769	814	769	0
Ohjausjärjestelmien huoltokustannusten nykyarvo	€	0	0	0	0
<b>Elinkaarikustannuksen nykyarvo</b>	<b>€</b>	<b>41 210</b>	<b>32 802</b>	<b>48 520</b>	<b>0</b>

Nykyarvoilla laskettu takaisinmaksuaika elinkaarikustannuksiltaan kalleimpaan vaihtoehtoon verrattuna	vuosia	Edullisempi kuin kallein vaihtoehto	8	Suurin elinkaarikustannus	-
Sisäinen korkokanta vasemmanpuoleiseen tapaukseen verrattuna	vuosia	Tähän verrataan	ei voi laskea	ei voi laskea	#JAKO/0!



 <b>GRANLUND OY</b> Suurlohjankatu 10, 08100 Lohja		<b>URAKKAHINTAENNUSTE</b> <b>Sähkölärjestelmät</b>	
<b>Avena Kantvik Oy</b> <b>Opinnäytetyö - Ulkovalaistuksen uusiminen</b>		Asiakirjanumero: 0101 Projektinumero: E08823.P000 Arkistointimerkintä: Viimeisin muutos: Laadintapäivämäärä: 29.4.2018 Laatija: NSU Tarkastaja: JLs	
Bruttoala: 30 000 brm <sup>2</sup> Huoneistoala: htm <sup>2</sup> Rakennustilavuus: rm <sup>3</sup>		Suunnitteluvaihe: Toteutussuunnittelu Paikkakunta: Kirkkonummi Ajankohta: 04/2018	

Positio	Valmistaja	Valaisin	Määrä	Hinta/kpl	Yhteensä	Alennus 20 %	Alennus 40 %
1	Glamox	O91 LED 35000 HF 750 ASY, n.33200 lm	7	1 250 €	8 750 €	7 000 €	5 600 €
2	Glamox	O91 LED 50000 HF 750 ASY, n. 48000 lm	1	2 000 €	2 000 €	1 600 €	1 280 €
4	Glamox	MIRZ67-600 LED 2500 HF TW PC 840 M20, n. 2448 lm	2	205 €	410 €	328 €	262 €
4	Glamox	Säädettävä seinäasennuskiinnike	2	7 €	14 €	11 €	9 €
5	Glamox	MIRZ67-1200 LED 5000 HF TW PC 840 M20, n. 4974 lm	29	270 €	7 830 €	6 264 €	5 011 €
5	Glamox	Säädettävä seinäasennuskiinnike	29	7 €	203 €	162 €	130 €
6	Glamox	MIRZ67-1500 LED 11000 HF TW PC 840 M20, n. 10964 lm	6	350 €	2 100 €	1 680 €	1 344 €
7	Glamox	MIRZ67-1200 LED 5000 HF TW PC 840 M20, n. 4974	48	270 €	12 960 €	10 368 €	8 294 €
8	Glamox	MIRZ67-1200 LED 5000 HF TW PC 840 M20, n. 4974 lm	27	270 €	7 290 €	5 832 €	4 666 €
11	Ensto	AVR8.114LA, n. 790 lm	19	208 €	3 952 €	3 162 €	2 529 €
15	Glamox	MACH 2 LED 4000 HF 740 MB SILVER, n. 4050 lm	2	450 €	900 €	720 €	576 €
17	Glamox	MACH 4 LED 9000 HF 740 ASY SILVER, n. 8800 lm	2	735 €	1 470 €	1 176 €	941 €
18	Glamox	MACH 5 LED 14000 HF 740 ASY SILVER, n. 14000 lm	5	900 €	4 500 €	3 600 €	2 880 €
20	Glamox	O52 LED 5000 740 HF WBA, n. 4750 lm	4	450 €	1 800 €	1 440 €	1 152 €
20	Glamox	Seinäasennuskiinnike	4	35 €	140 €	112 €	90 €
22	Glamox	O52 LED 15000 740 HF WBA, n. 14150 lm	4	600 €	2 400 €	1 920 €	1 536 €
22	Glamox	Seinäasennuskiinnike	4	35 €	140 €	112 €	90 €
25	Glamox	O52 LED 10000 740 HF WBA, n. 9300 lm	1	525 €	525 €	420 €	336 €
30	Fagerhult	Rondo G2 Power Twin, Leveä valonjako, n. 2800 lm	4	764 €	3 056 €	2 445 €	1 956 €
40	Bega	Floodlight 77363K4, Graphiitti, n. 2787 lm	1	1 300 €	1 300 €	1 040 €	832 €
45	Bega	Wall washer 24597K4, Graphiitti, (9/16°), n. 1967 lm	4	640 €	2 560 €	2 048 €	1 638 €
50	Philips Lighting	TownGuide Performer BDP102 PCC 1xECO60/840 DW, n. 4853 lm	4	640 €	2 560 €	2 048 €	1 638 €
51	Philips Lighting	TownGuide Performer BDP102 PCC 1xECO60/840 DS, n. 4974 lm	8	540 €	4 320 €	3 456 €	2 765 €
52	Philips Lighting	TownGuide Performer BDP102 PCC 1xECO60/840 DRW, n. 4550 lm	6	640 €	3 840 €	3 072 €	2 458 €
			<b>184</b>	<b>400 €</b>	<b>75 000 €</b>	<b>60 000 €</b>	<b>48 000 €</b>



Työnumero	Alue	Asennustyö	Kappale lkm.	Mateliaali/m	Yksikköhinta	Yhteensä
1	Yleinen	Valaisimien vaihtotyö	184		20,0 €	3 680 €
2	Yleinen	Valaisimien purkutyöt	165		15,0 €	2 475 €
3	Yleinen	Selvittelytyöt	20		50,0 €	1 000 €
4	Yleinen	Asennussuunnitelmat	40		50,0 €	2 000 €
5	Puristevastastonseinä	O52 LED 15000-seinävalaisimien korotus ja siirto, Kaapelointi	5	8	10,5 €	420 €
6	Puristevastastonseinä	Syöttö jakorasiolla	1		35,0 €	35 €
7	Siemenlastauksenseinä	O52 LED -seinävalaisimien lisäys, Kaapelointi	2	6	10,5 €	126 €
8	Siemenlastauksenseinä	Syöttö jakorasiolla	1		35,0 €	35 €
9	Yleinen	AVR8.114LA lisäykset, Kaapelointi	4	10,0	10,5 €	420 €
10	Yleinen	Syöttö jakorasiolla	2		35,0 €	70 €
11	Öljynlastauskatos	Valonheitinlisäykset, Kaapelointi	2	15,0	10,5 €	315 €
12	Öljynlastauskatos	Syöttö jakorasiolla	1		35,0 €	35 €
13	Verstaankatos	Valonheitinlisäykset, Kaapelointi	2	5	10,5 €	105 €
14	Verstaankatos	Syöttö jakorasiolla	1		35,0 €	35 €
15	Putkisilta	Valonheitinlisäykset, Kaapelointi	1	16	10,5 €	168 €
16	Tehtaan vesikatko	Valonheitinlisäykset/Siirrot, Kaapelointi	3	10	10,5 €	315 €
17	Tehtaan vesikatko	Syöttö jakorasiolla	3		35,0 €	105 €
18	Öljysiilot, Pakkaamo valaisu	Valonheitinlisäykset, Kaapelointi	2	10	10,5 €	210 €
19	Pikkusiilo	Siilon koriste- ja työtasovalaisimet valaisimien välinen kaapelointi	4	1,6	10,5 €	67 €
20	Pikkusiilo	Siilon koriste- ja työtasovalaisimet syöttö, Kaapelointi	1	7	4,5 €	32 €
21	Portti	Opastekyltin valaisimet syöttö, Kaapelointi	1	20	7,5 €	150 €
22	Portti	Syöttö jakorasiolla	1		35,0 €	35 €
23	Kuivurirakennus	Kuivurin portaiden valaisinlisäys, Kaapelointi	1	5	10,5 €	53 €
24	Siilojenväli putkisilta	Lisävalaisin putkisiltaan kierrätyskatoksen viereen, Kaapelointi	1	8	4,5 €	36 €
						<b>11 900 €</b>

Kustannukset yhteensä	Alv (0 %)	Alv (24 %)
Ilman alennuksia	86 900 €	107 800 €
Energiatuki 20 %	69 500 €	86 200 €
Valaisimien alennus 20 % + energiatuki	57 500 €	71 300 €
Valaisimien alennus 40 % + energiatuki	47 900 €	59 400 €
Valaisimien alennus 20 %	71 900 €	89 200 €
Valaisimien alennus 40 %	59 900 €	74 300 €

Asiakas:  
Avena Kantvik Oy

Tekijä:  
Niko Uimonen

Päivämäärä:  
17.4.2018

## Nykyisillä valoilla

### Opinnäytetyö

Tässä suunnitelmassa on mallinnettu nykytilanteen valaistus käyttämällä vastaavanlaisia valaisimia kuin alkuperäisessä valaisinluettelossa.

Ohessa on havainnekuvia DIALux mallinnuksesta.

Nykyisillä valoilla

17.4.2018

# DIALux

Nykyisillä valoilla / Sisällysluettelo

## Sisällysluettelo

Nykyisillä valoilla

Näkymät..... 3

Nykyisillä valoilla

17.4.2018

Nykyisillä valoilla / Näkymät

# DIALux

Nykyisillä valoilla

Ympäristö 1



## Ympäristö 1



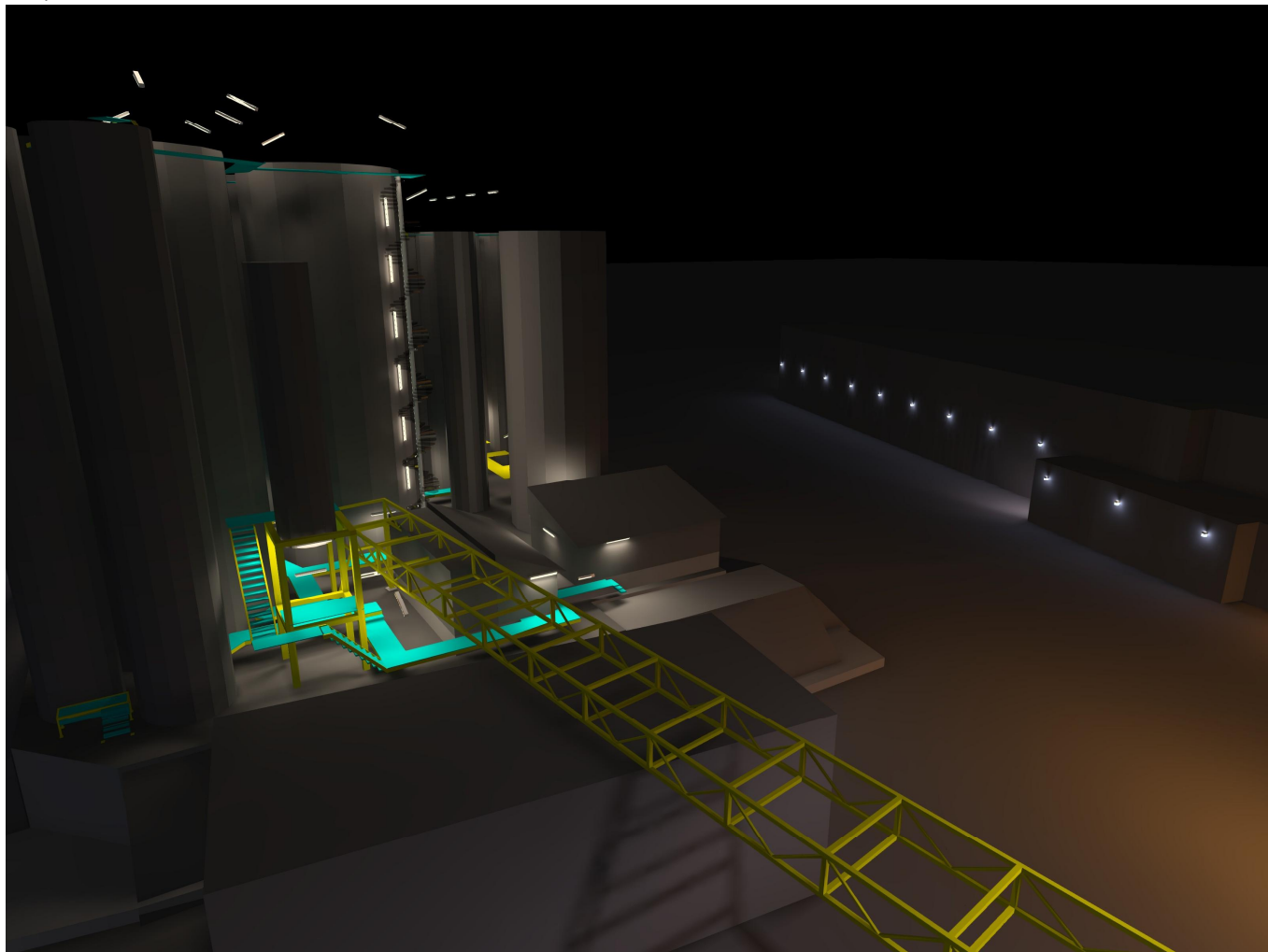
Nykyisillä valoilla

17.4.2018

# DIALux

Nykyisillä valoilla / Näkymät

## Ympäristö 1



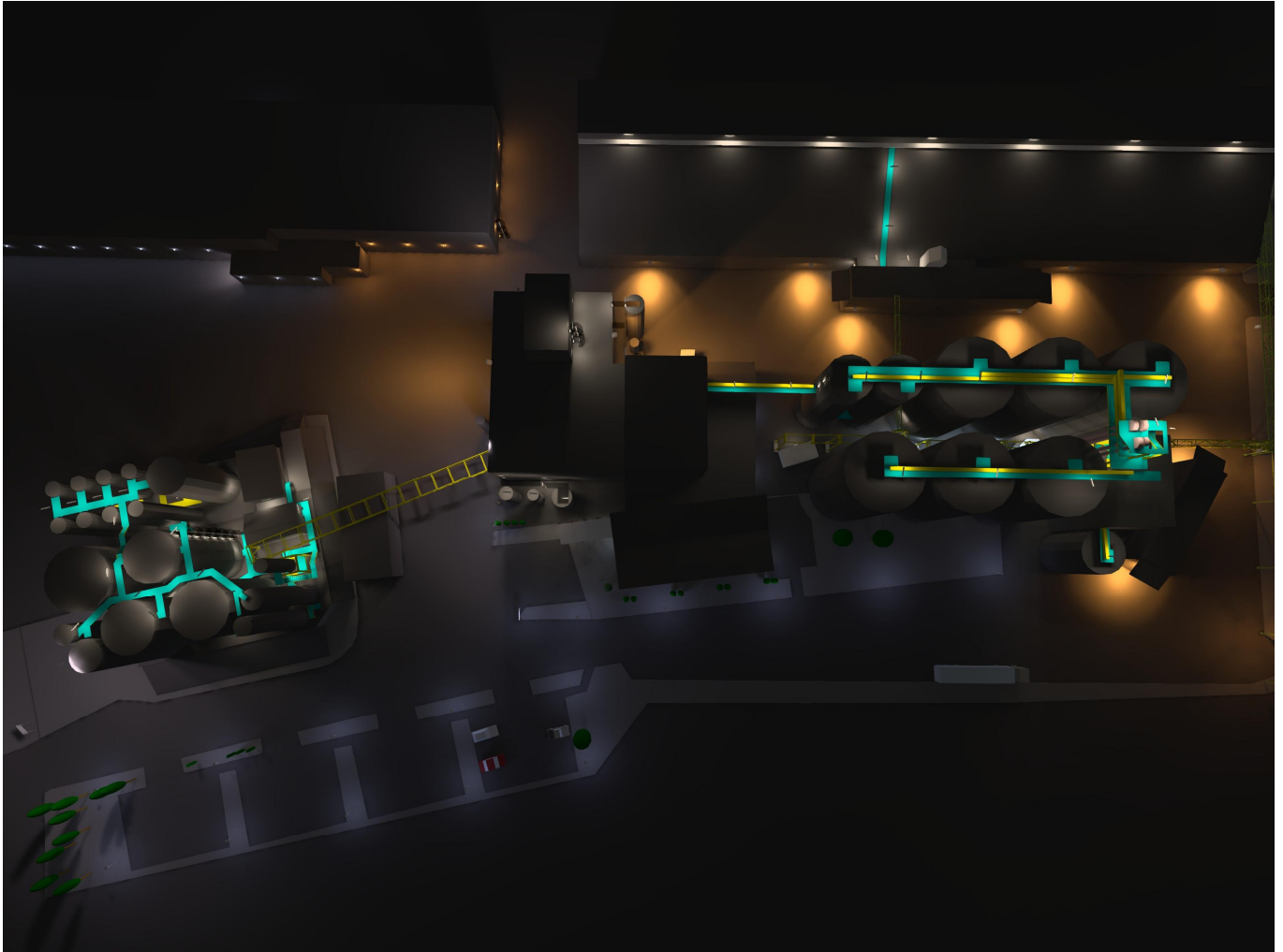
Nykyisillä valoilla

17.4.2018

Nykyisillä valoilla / Näkymät

# DIALux

## Ympäristö 1



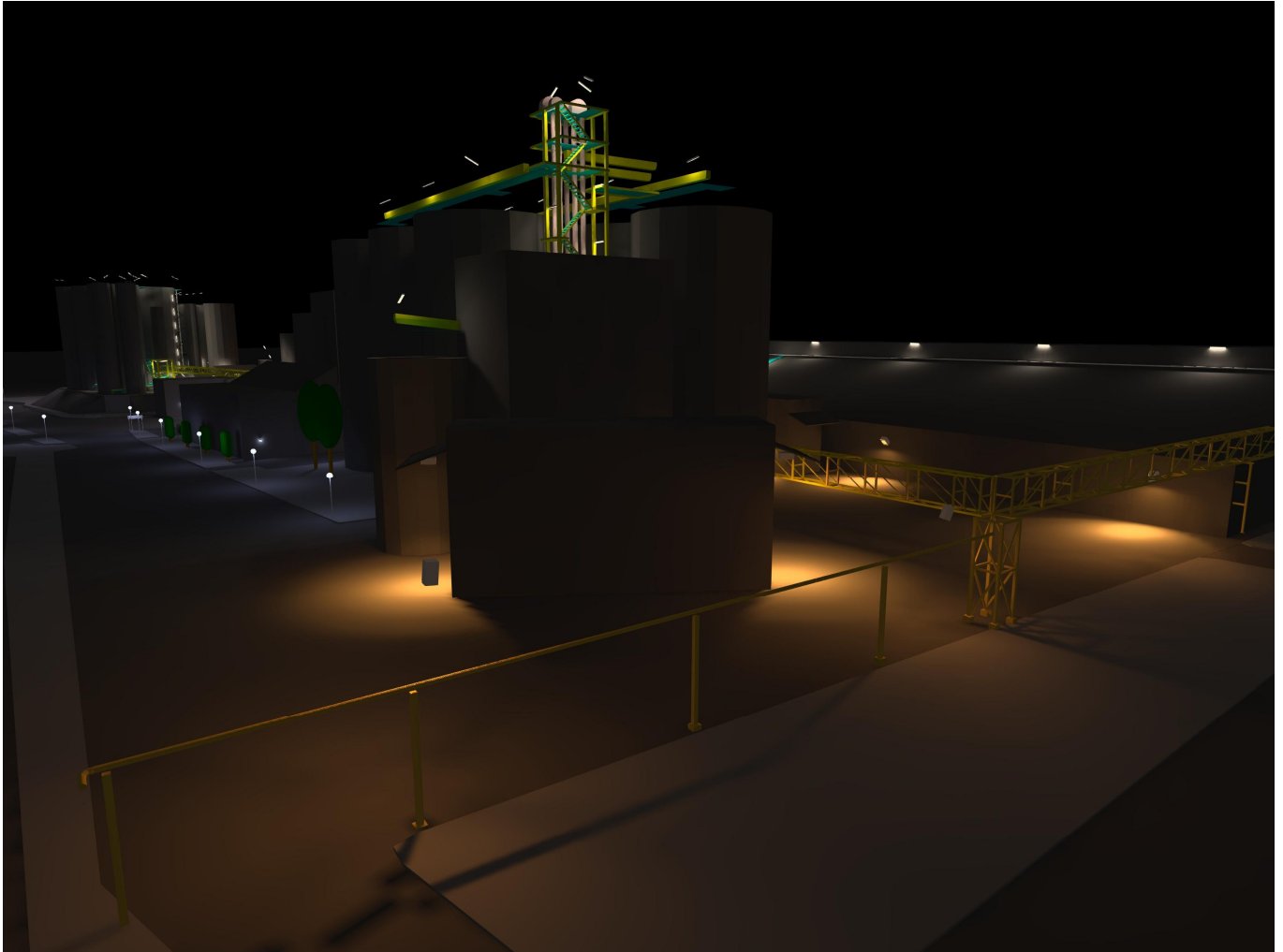
Nykyisillä valoilla

17.4.2018

Nykyisillä valoilla / Näkymät

# DIALux

## Ympäristö 1





Satamatie 64

## Uusilla valoilla

Opinnäytetyö

Tässä suunnitelmassa on esitetty havainnekuvia DIALux evon valaistuksen mallinnuksesta.

Uusilla valoilla

17.4.2018

DIALux


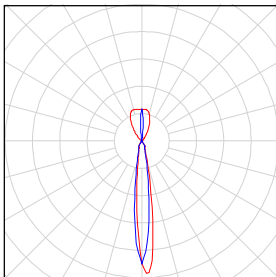
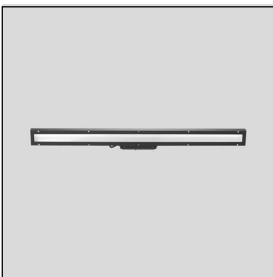
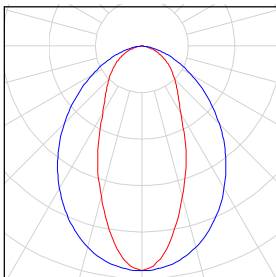
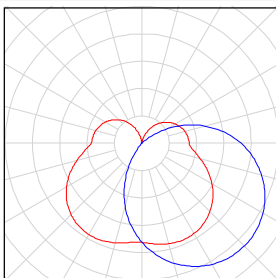
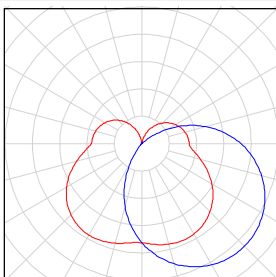
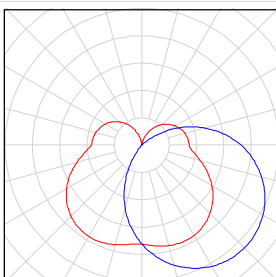
Uusilla valoilla / Sisällysluettelo

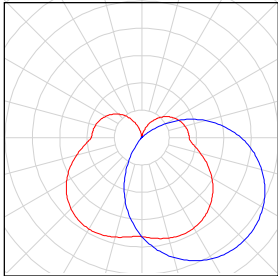
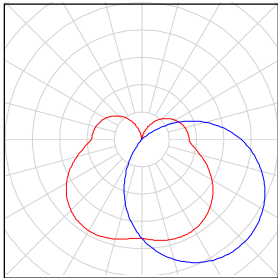

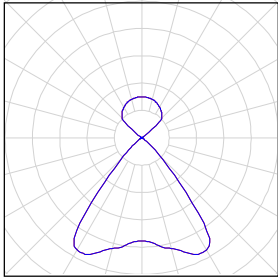

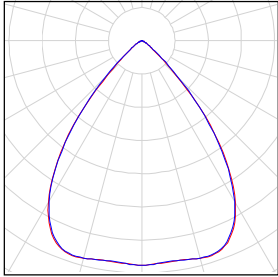

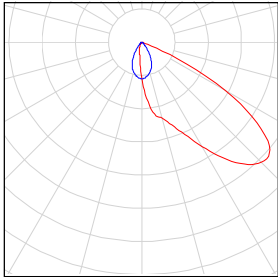
## Sisällysluettelo


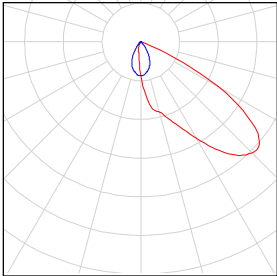

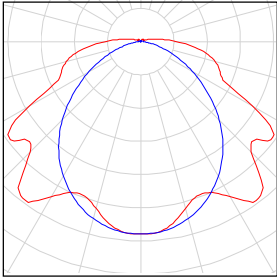

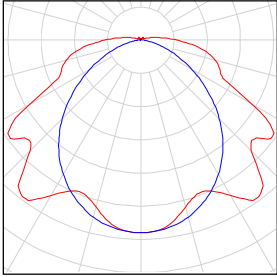

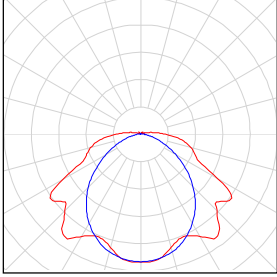

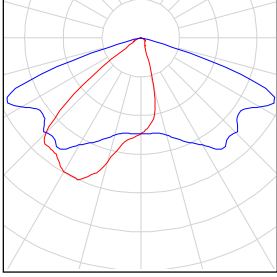
Uusilla valoilla


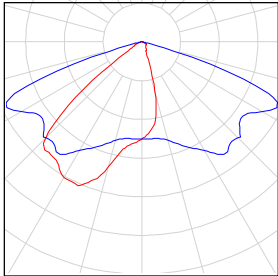

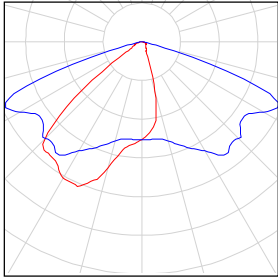

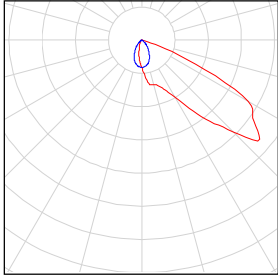

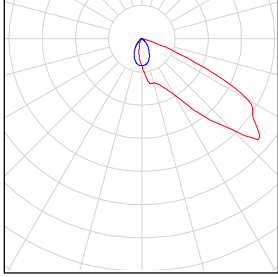

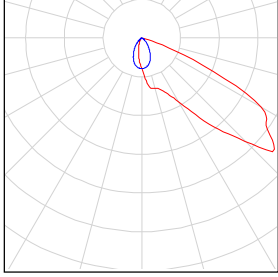
Luettelo valaisimista.....	3
Ympäristö 1	
Näkymät.....	8

## Uusilla valoilla

Kappalemäärä	Valaisin (Valaistu alue)		
4	<p>BEGA Lichttechnische Spezialfabrik - 24597K4 LED 33,0W  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 33,0W  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 1967 lm  Teho: 38.0 W  Valoteho: 51.8 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED 33,0W: CCT 3783 K, CRI 80</p>		
1	<p>BEGA Lichttechnische Spezialfabrik - 77363K4 LED 40,0W  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 40,0W  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 2787 lm  Teho: 47.0 W  Valoteho: 59.3 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED 40,0W: CCT 4000 K, CRI 80</p>		
2	<p>Ensto Lighting - AVR8.114LAL Outdoor luminaire  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 9W (350mA)  Käyttötehoaste: 100%  Lampun valovirta: 790 lm  Valaisimien valovirta: 790 lm  Teho: 9.0 W  Valoteho: 87.8 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1x: CCT 4000 K, CRI 80</p>	Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.	
16	<p>Ensto Lighting - AVR8.114LAL Outdoor luminaire  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 13W (500mA)  Käyttötehoaste: 100%  Lampun valovirta: 1080 lm  Valaisimien valovirta: 1080 lm  Teho: 13.0 W  Valoteho: 83.1 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED 13W (500mA): CCT 3991 K, CRI 84</p>	Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.	
18	<p>Ensto Lighting - AVR8.114LAL Outdoor luminaire  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 18W (700mA)  Käyttötehoaste: 100%  Lampun valovirta: 1450 lm  Valaisimien valovirta: 1450 lm  Teho: 18.0 W  Valoteho: 80.6 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1x: CCT 4000 K, CRI 80</p>	Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.	

Kappalemäärä	Valaisin (Valaistu alue)		
8	<p>Ensto Lighting - AVR8.114LAL Outdoor luminaire  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 13W (500mA)  Käyttötehoaste: 100%  Lampun valovirta: 1080 lm  Valaisimien valovirta: 1080 lm  Teho: 13.0 W  Valoteho: 83.1 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1x: CCT 4000 K, CRI 80</p>	<p>Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.</p>	
2	<p>Ensto Lighting - AVR8.114LAL Outdoor luminaire  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 9W (350mA)  Käyttötehoaste: 100%  Lampun valovirta: 790 lm  Valaisimien valovirta: 790 lm  Teho: 9.0 W  Valoteho: 87.8 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED 9W (350mA): CCT 3991 K, CRI 84</p>	<p>Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.</p>	
4	<p>Fagerhults Belysning AB - 302109 Rondo G2 Power  Twin seinävalaisin 4K  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED 302109  Käyttötehoaste: 99.96%  Lampun valovirta: 2800 lm  Valaisimien valovirta: 2799 lm  Teho: 38.0 W  Valoteho: 73.7 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED 302109: CCT 4000 K, CRI 85</p>		
2	<p>Glamox - MACH 2 LED 4000 740 MB  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED MACH2 4000  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 4050 lm  Teho: 34.0 W  Valoteho: 119.1 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED MACH2 4000: CCT 4000 K, CRI 70</p>		
2	<p>Glamox - MACH 4 LED 9000 740 ASY  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED MACH4 9000  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 8800 lm  Teho: 78.0 W  Valoteho: 112.8 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED MACH4 9000: CCT 4000 K, CRI 70</p>		

Kappalemäärä	Valaisin (Valaistu alue)		
5	<p>Glamox - MACH 5 LED 14000 740 ASY  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED MACH5 14000  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 14000 lm  Teho: 127.0 W  Valoteho: 110.2 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED MACH5 14000: CCT 4000 K, CRI 70</p>		
56	<p>Glamox - MIRS67-1200 LED 5000  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED MIR 5000 840  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 4974 lm  Teho: 37.0 W  Valoteho: 134.4 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED MIR 5000 840: CCT 4000 K, CRI 80</p>		
48	<p>Glamox - MIRZ67-1200 LED 5000  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED MIR 5000 840  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 4974 lm  Teho: 37.0 W  Valoteho: 134.4 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED MIR 5000 840: CCT 4000 K, CRI 80</p>		
2	<p>Glamox - MIRZ67-600 LED 2500  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED MIR 2500 840  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 2448 lm  Teho: 20.0 W  Valoteho: 122.4 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED MIR 2500 840: CCT 4000 K, CRI 80</p>		
1	<p>Glamox - O52 LED 10000 740 WBA  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED O52 10 WBA 740  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 9300 lm  Teho: 78.0 W  Valoteho: 119.2 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED O52 10 WBA 740: CCT 4000 K, CRI 70</p>		

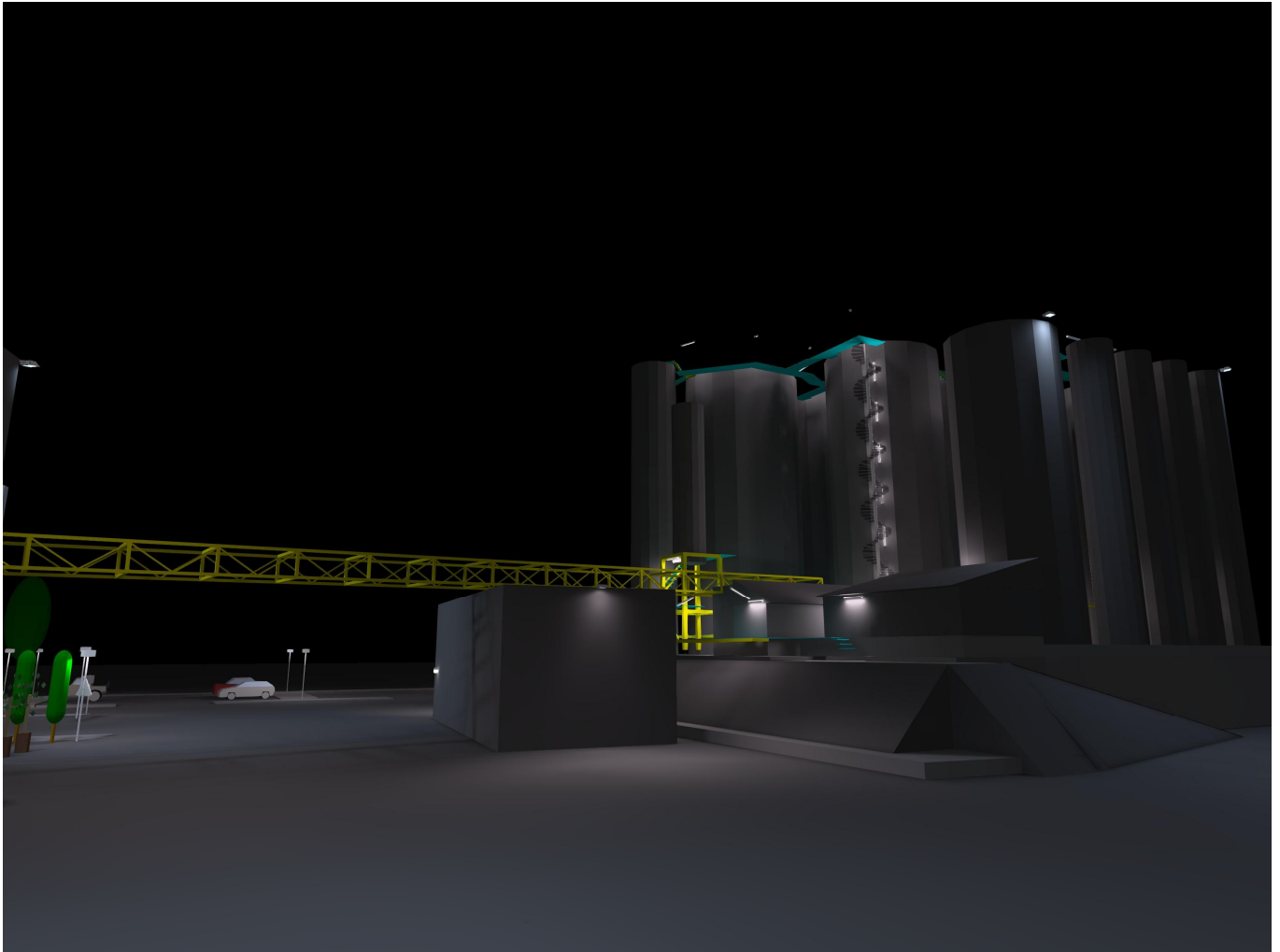
Kappalemäärä	Valaisin (Valaistu alue)		
4	<p>Glamox - O52 LED 15000 740 WBA  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED O52 15 WBA 740  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 14150 lm  Teho: 125.0 W  Valoteho: 113.2 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED O52 15 WBA 740: CCT 4000 K, CRI 70</p>		
5	<p>Glamox - O52 LED 5000 740 WBA  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED O52 5 WBA 740  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 4750 lm  Teho: 39.0 W  Valoteho: 121.8 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED O52 5 WBA 740: CCT 4000 K, CRI 70</p>		
6	<p>Glamox - O91 LED 35000 HF 750 ASY  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED O91 35 750 ASY  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 33200 lm  Teho: 308.0 W  Valoteho: 107.8 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED O91 35 750 ASY: CCT 5000 K, CRI 70</p>		
1	<p>Glamox - O91 LED 35000 HF 750 ASY  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED O91 35 750 ASY  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 33200 lm  Teho: 308.0 W  Valoteho: 107.8 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED O91 35 750 ASY: CCT 5470 K, CRI 86</p>		
1	<p>Glamox - O91 LED 50000 HF 750 ASY  Valaistu alue 1  Varustus: 1xLED O91 50 750 ASY  Absoluuttinen fotometria  Valaisimien valovirta: 48000 lm  Teho: 413.0 W  Valoteho: 116.2 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot  1xLED O91 50 750 ASY: CCT 5000 K, CRI 70</p>		

Kappalemäärä	Valaisin (Valaistu alue)		
6	<p>Glamox - 17070407 MIRZ67-1500 LED 11000</p> <p>Valaistu alue 1</p> <p>Varustus: 1xLED MIR 11000 840</p> <p>Absoluuttinen fotometria</p> <p>Valaisimien valovirta: 10964 lm</p> <p>Teho: 83.0 W</p> <p>Valoteho: 132.1 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot</p> <p>1xLED MIR 11000 840: CCT 3991 K, CRI 84</p>	<p>Löydät valaisimen kuvan valaisinluettelosta.</p>	
6	<p>Philips Lighting - BDP102 PCC 1xEco60/840 DRW</p> <p>Valaistu alue 1</p> <p>Varustus: 1xEco60/840/-</p> <p>Käyttötehoaste: 74.98%</p> <p>Lampun valovirta: 6066 lm</p> <p>Valaisimien valovirta: 4548 lm</p> <p>Teho: 46.0 W</p> <p>Valoteho: 98.9 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot</p> <p>1xEco60/840/-: CCT 3991 K, CRI 84</p>		
8	<p>Philips Lighting - BDP102 PCC 1xEco60/840 DS</p> <p>Valaistu alue 1</p> <p>Varustus: 1xEco60/840/-</p> <p>Käyttötehoaste: 82.41%</p> <p>Lampun valovirta: 6066 lm</p> <p>Valaisimien valovirta: 4999 lm</p> <p>Teho: 46.0 W</p> <p>Valoteho: 108.7 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot</p> <p>1xEco60/840/-: CCT 3991 K, CRI 84</p>		
4	<p>Philips Lighting - BDP102 PCC 1xEco60/840 DW</p> <p>Valaistu alue 1</p> <p>Varustus: 1xEco60/840/-</p> <p>Käyttötehoaste: 79.54%</p> <p>Lampun valovirta: 6066 lm</p> <p>Valaisimien valovirta: 4825 lm</p> <p>Teho: 46.0 W</p> <p>Valoteho: 104.9 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot</p> <p>1xEco60/840/-: CCT 3991 K, CRI 84</p>		
3	<p>Rexel Finland - 4521700 Jolly 1/HIT-DE70/Sym</p> <p>Valaistu alue 1</p> <p>Varustus: 1xMetal halide lamp</p> <p>Käyttötehoaste: 80.33%</p> <p>Lampun valovirta: 6500 lm</p> <p>Valaisimien valovirta: 5221 lm</p> <p>Teho: 84.0 W</p> <p>Valoteho: 62.2 lm/W</p> <p>Värimetriset tiedot</p> <p>1xPhilips CDM-TD 70W/830: CCT 3000 K, CRI 80</p>		

Lamppujen kokonaisvalovirta: 1259449 lm, Valaisinten kokonaisvalovirta: 1233000 lm, Kokonaisteho: 10690.0 W, Valoteho: 115.3 lm/W

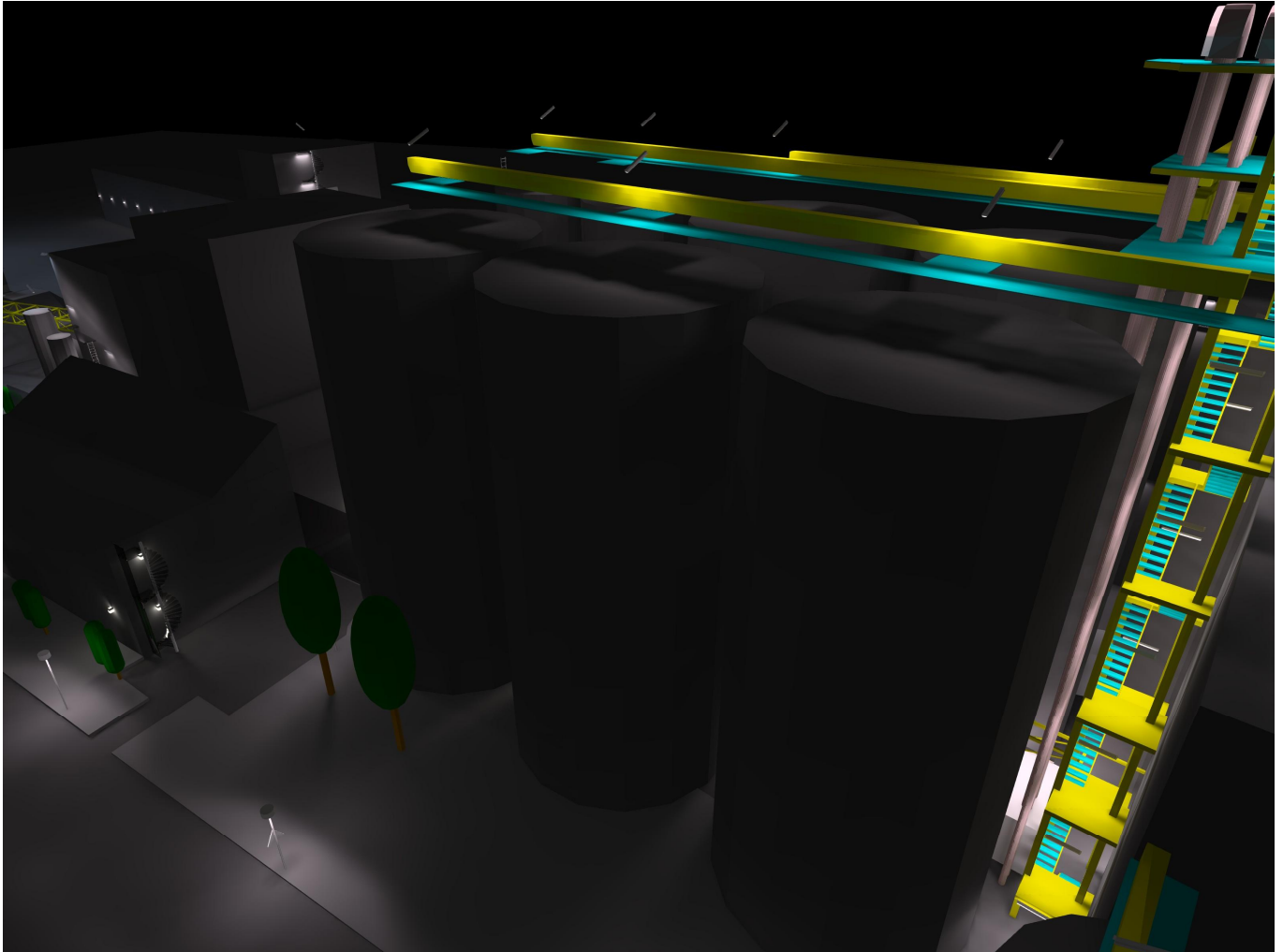
## Ympäristö 1

### Ympäristö 1

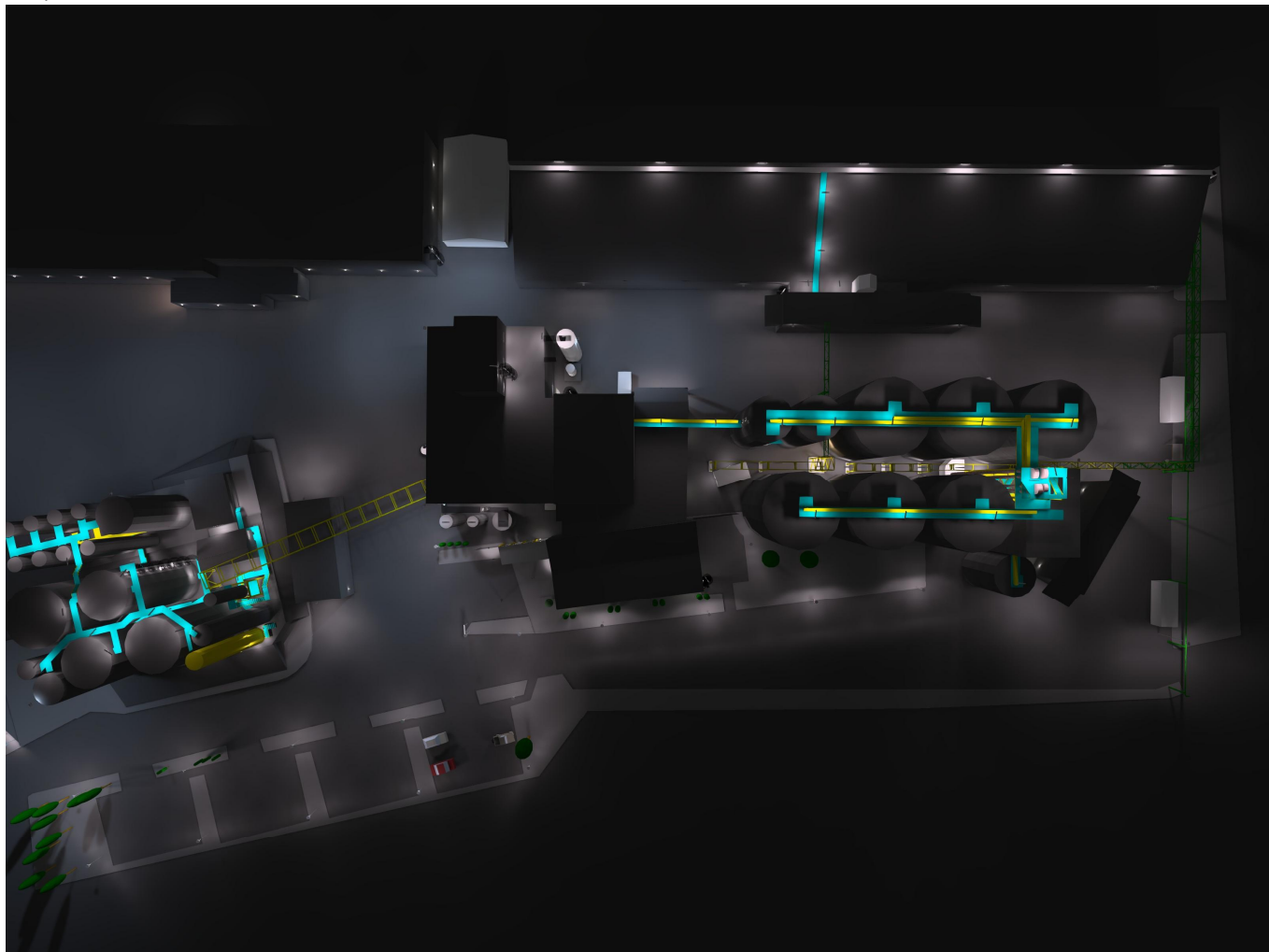




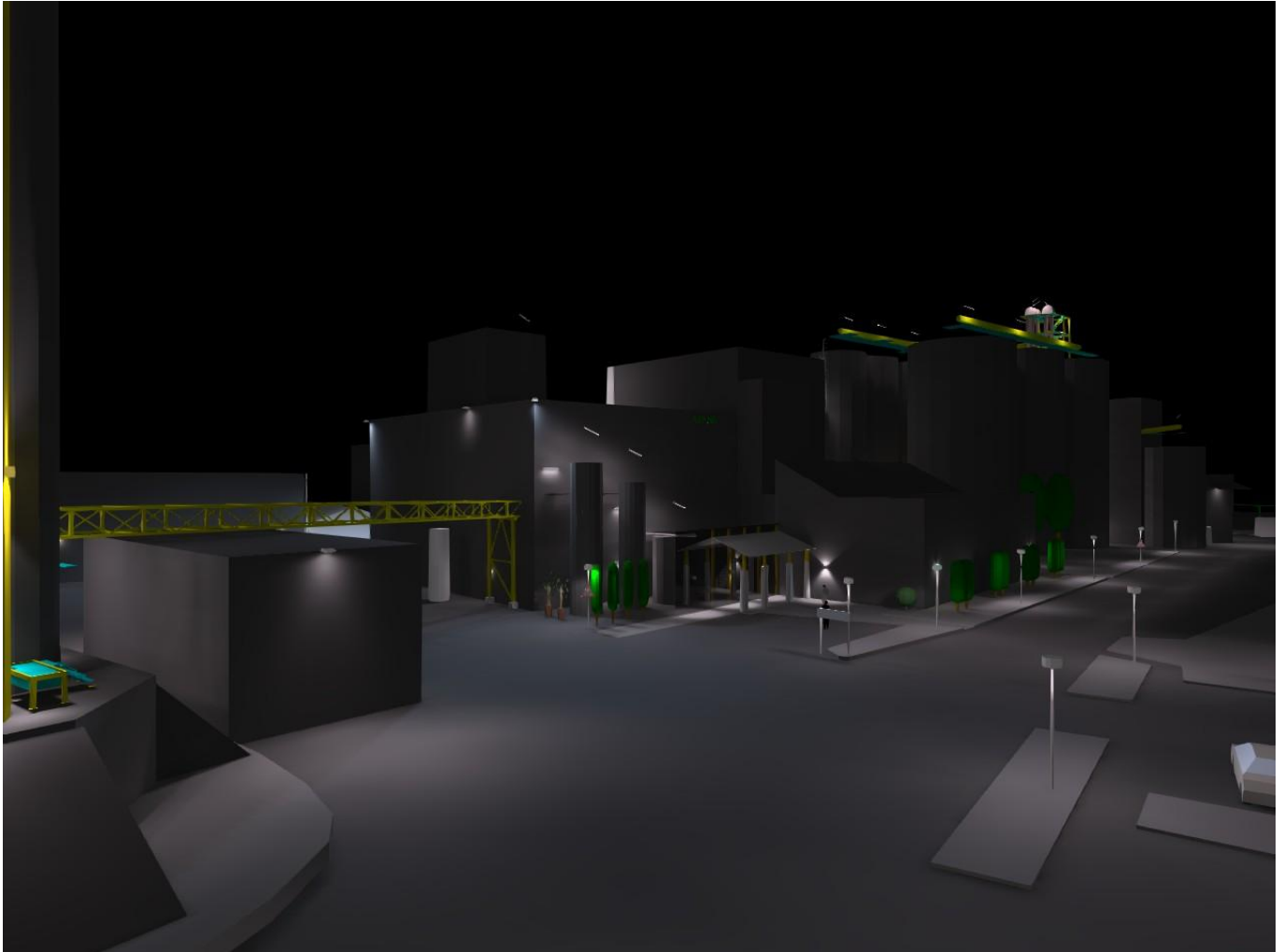
## Ympäristö 1



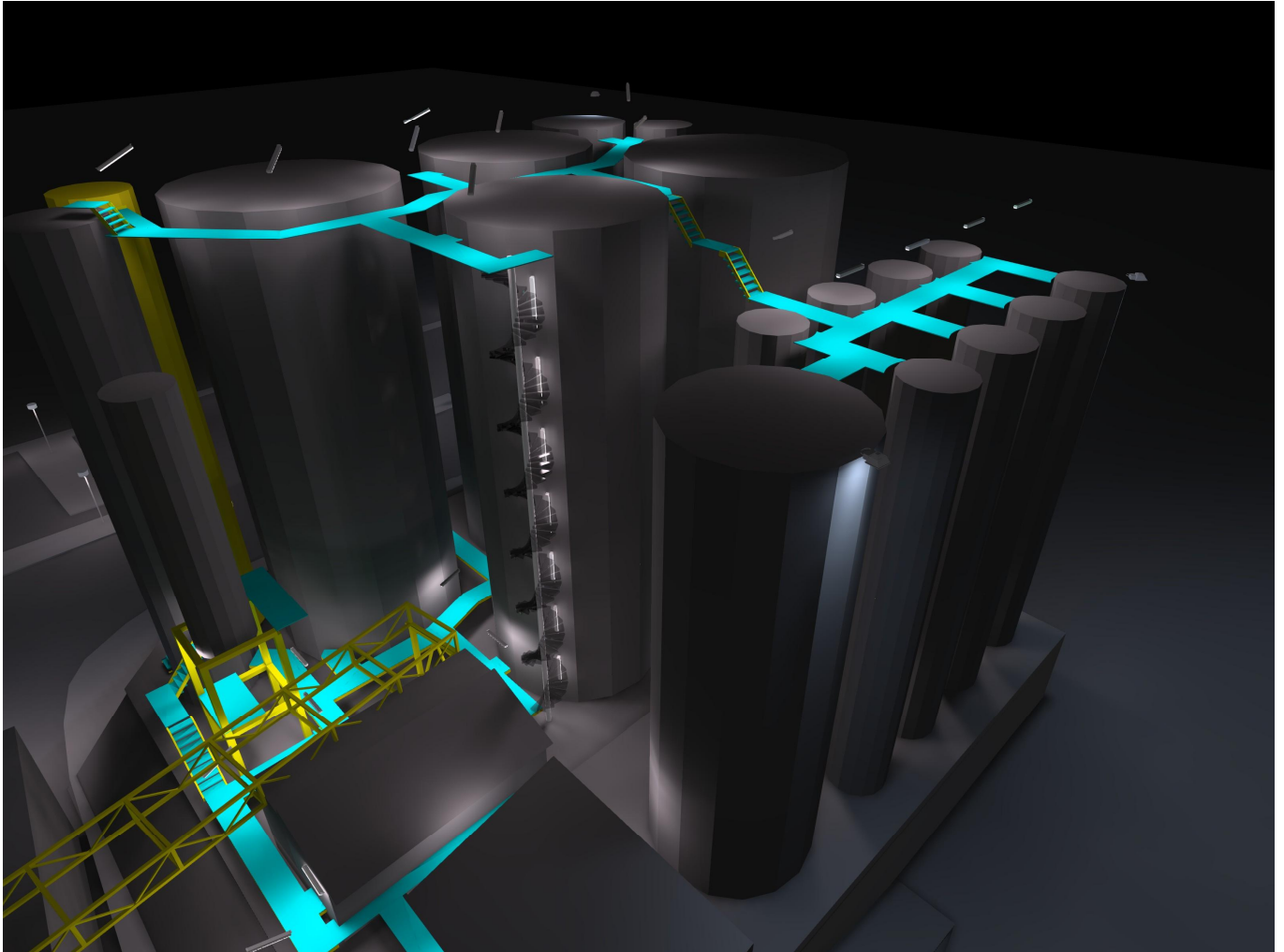
## Ympäristö 1



## Ympäristö 1



## Ympäristö 1



## Ympäristö 1

